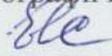


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)  
Геолого-географический факультет  
Кафедра географии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК  
Руководитель ООП  
д-р. географических наук, профессор

 Н. С. Евсева

*подпись*  
« 09 » 06 2023 г.

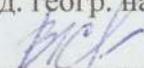
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ЦИФРОВОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ  
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
РАДИОСЕТИ И СОТОВОЙ СВЯЗИ

по основной образовательной программе подготовки бакалавров  
направление подготовки 05.03.02 – География

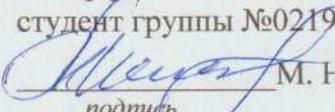
Шихова Мария Николаевна

Руководитель ВКР  
канд. геогр. наук, доцент

 В. В. Хромых

*подпись*  
« 08 » июня 2023 г.

Автор работы  
студент группы №021904

 М. Н. Шихова

*подпись*  
« 08 » июня 2023 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)  
Геолого-географический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ООП

д-р. географических наук, профессор

Н.С. Евсева

« 16 » 01 2023 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра обучающегося

Шиховой Марии Николаевны

(Ф.И.О. обучающегося)

по направлению подготовки 05.03.02 География, направленность (профиль) «География, геотехнологии и туризм»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Гидрологическое картографирование и 3D-моделирование  
населенных пунктов при планировании инфраструктуры радиосети и сотовой  
связи

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) на кафедру – 10.06.2023 г. б) в ГЭК – 14.06.2023 г.

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования: территория населенных пунктов Томской области  
в пределах реки Обь.

Предмет исследования: зона покрытия вышек сотовой связи.

Цель исследования: Картографирование зон устойчивого приема  
сигнала радиосети и сотовой связи в населенных пунктах на р. Обь.

Задачи: 1) аналитический обзор литературы и картографические материалы (в пределах Томской  
области) по теме исследования, 2) картографическое моделирование зон покрытия радиосети  
и сотовой связи в пределах к. участка, 3) расчеты зон покрытия радиосети и сотовой связи.

Методы исследования: сравнительно-картографический, методы картографического  
картографирования, моделирование, методы описания, математического моделирования.

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа: \_\_\_\_\_

4. Краткое содержание работы: работа состоит из введения, 3 глав:

1. Функцио-географические условия населенных пунктов в долине р. Обь  
Томской области, 2. Теоретические аспекты анализа рельефа в ГИС  
для целей оптимизации сотовой связи. 3. Планирование радиосети и сотовой связи на территории  
населенных пунктов Томской области; заключение и список  
использованной литературы.

Руководитель выпускной квалификационной работы

Зав. кафедрой географии ТГУ

(должность, место работы)

Красных В.В.

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

Студент группы 021904

(должность, место работы)

Шихова М.Н.

(подпись)

(И.О. Фамилия)

## Аннотация

Данная работа посвящена геоинформационному картографированию зон видимости для вышек сотовой связи, в целях планирования инфраструктуры радиосети и сотовой связи в населенных пунктах, расположенных в долине р. Обь. Картографирование осуществлялось на основе ДДЗ с БПЛА с последующим моделированием в ГИС-пакете, с использованием цифровых моделей местности на изучаемые территории и зон покрытия связи мобильных операторов. Ключевыми участками выступают территории пяти населённых пунктов Томской области, которые расположены в пределах долины р. Обь. Результатом работы стали карты зон видимости, их анализ и рекомендации по размещению вышек связи. Полученные данные могут использоваться для планирования инфраструктуры на территории изучаемых населенных пунктов Томской области.

## Annotation

This work is devoted to geoinformation mapping of the visibility zones of cellular towers, in order to plan the infrastructure of the radio network and cellular communications in settlements located in the valley of the Ob River. Mapping was carried out on the basis of DDZ with UAVs, followed by modeling in a GIS package, using DTM for the studied territories and coverage areas of mobile operators. The key areas are the territories of five settlements of the Tomsk region, which are located within the valley of the Ob River. The result of the work was maps of visibility zones, their analysis and recommendations for the placement of communication towers. The data obtained can be used for infrastructure planning on the territory of the studied settlements of the Tomsk region.

## Оглавление

Введение.....	3
ГЛАВА 1. Физико-географические условия населенных пунктов в долине реки Оби Томской области.....	5
1.1. Географическое положение .....	5
1.2. Геологическое строение .....	6
1.3. Особенности рельефа .....	7
1.4. Климат.....	10
1.5. Поверхностные воды .....	12
1.6. Растительность и почвы .....	13
ГЛАВА 2. Теоретические аспекты анализа рельефа в ГИС для целей оптимизации сотовой связи .....	16
2.1. Виды цифровых моделей рельефа (ЦМР).....	16
2.3. Источники данных для получения цифровых моделей рельефа.....	19
2.3. Применение цифровых моделей рельефа .....	23
2.4. Моделирование зон видимости и их применение для оптимизации размещения сотовой связи .....	25
ГЛАВА 3. Планирование размещения инфраструктуры радиосети и сотовой связи на территорию населенных пунктов Томской области .....	30
3.1. Кожевниково .....	30
3.2. Колпашево.....	34
3.3. Нарым.....	36
3.4. Каргасок .....	39
3.5. Вертикос .....	44
Заключение.....	50
Список использованных источников и литературы.....	51
Приложение А.....	53
Приложение Б .....	54

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших потребностей для современного человека, у которого в руке всегда можно увидеть телефон, являются наличие связи и выход в интернет. К сожалению, проблема отсутствия сотовой связи есть и в Томской области. В некоторых населенных пунктах связи все еще нет, и единственным средством связи является таксофон, в других, уровень сигнала настолько низкий, что совершение звонков порой невозможно.

Для населенных пунктов, расположенных вдоль главной реки области – Оби, наличие связи еще более важно, так как река является одним из единственных путей сообщения. Установка вышек осложняется рельефом речной долины, климатом и другими факторами, в том числе удаленностью пункта. Правильное планирование и установление вышек сотовой связи решит проблему отсутствия связи на территории Томской области.

Целью работы является картографирование зон устойчивого приёма сигнала радиосети и сотовой связи в населенных пунктах на р. Обь (в пределах Томской области).

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Аналитический обзор литературных и картографических источников;
- Анализ морфологического строения долины р. Оби в пределах ключевых участков;
- Картографирование зон видимости при разном расположении вышек сотовой связи на основе цифровых моделей местности ключевых участков;
- Разработка рекомендаций для планирования инфраструктуры радиосети и сотовой связи для операторов связи.

Объектом исследования является территория населенных пунктов Томской области в пределах речной долины Оби.

Предметом исследования являются зоны покрытия вышек сотовой связи.

Источниками данных являются высокодетальные данные дистанционного зондирования (ДДЗ), полученные с помощью аэрофотосъемочного комплекса Геоскан-201 отечественной фирмы Geoscan (разрешение съёмки 0,04–0,05 м, съёмка проводилась сотрудниками ЗАО «Томскгипрозем» в период с июня по октябрь 2018 г.). Также в качестве источников информации использовались: геосервис «Яндекс-карты» с картами изучаемых населенных пунктов и сайты операторов сотовой связи с картами их зон покрытия.

В работе используются следующие методы:

- сравнительно-картографические;
- геоинформационного картографирования;

- дистанционного зондирования;
- прогнозирования;
- математического моделирования.

Работа состоит из 3 глав: физико-географическая характеристика исследуемой территории, теоретические аспекты анализа рельефа в ГИС для целей оптимизации сотовой связи, планирование размещения инфраструктуры радиосети и сотовой связи на территорию населенных пунктов Томской области.

Сбор материалов для написания выпускной квалификационной работы бакалавра проводился в процессе производственной и преддипломной практики с соблюдением безопасных условий труда и учетом гигиенических факторов, обеспечивающих высокий уровень физической и умственной работоспособности.

# ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В ДОЛИНЕ РЕКИ ОБИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

## 1.1. Географическое положение

Томская область располагается на юго-востоке одной из крупнейших равнин мира — Западно-Сибирской. Площадь области равна 316,9 тыс. км<sup>2</sup>. На севере регион граничит с Тюменской, на востоке — с Красноярским краем, на западе — с Омской, а на юге — с Новосибирской и Кемеровской областями. В административно-территориальном отношении Томская область делится на 16 районов (рис. 1) [6].

В качестве ключевых участков, для которых проводилось цифровое картографирование, были выбраны населенные пункты, расположенные в пределах долины р. Обь: село Кожевниково, город Колпашево, село Нарым, село Каргасок, село Вертикос.

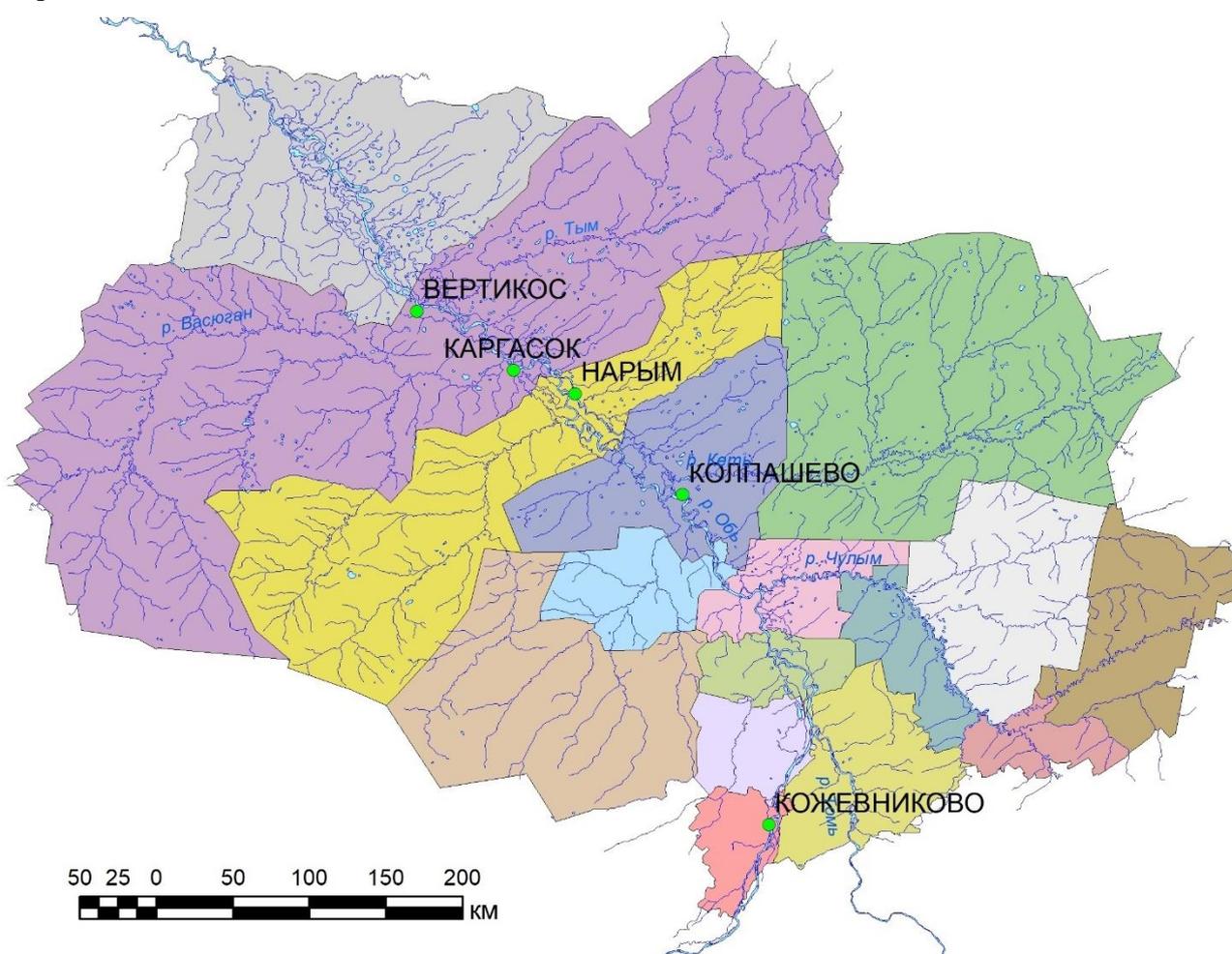


Рисунок 1 - Карта расположения ключевых участков на территории Томской области

Территорию области пересекает р. Обь. По Оби и ее крупным притокам: Томи, Чулыму, Кети, Тыму, Васюгану и Парабели город Томск связывается со всеми районами и соседними областями [6].

## 1.2. Геологическое строение

Томская область находится на юго-востоке Западно-Сибирской плиты, в геологическом строении которой выделяются фундамент и рыхлый мезозойско-кайнозойский чехол. Фундамент, в свою очередь, состоит из двух структурных этажей: 1) нижнего — складчатого, который сложен сильно метаморфизированными породами докембрия и палеозоя, смятыми в крутые складки и прорванными интрузиями различного состава и возраста; 2) верхнего, который представлен отложениями палеозоя и нижнего мезозоя, накапливавшихся в постгеосинклинальную стадию развития отдельных участков плиты. Фундамент в основном сложен глинистыми сланцами, известняками, песчаниками, гранитами, диабазами и др. [5].

На юге представлена Томь-Колыванская система, которая находится на левобережье Оби и входит в Центрально-Западносибирскую складчатую систему. В правобережной восточной части области выделяется Пыль-Караминский инверсионный мегантиклинорий, который на сотни километров вытянут в меридиональном направлении. Он представлен сочетанием отдельных поднятий, собранных вместе и отраженных в мезозойско-кайнозойском чехле [5].

Салаирско-Кузнецкоалатауская (салаирская) и Центрально-Западносибирская (позднегерцинская) складчатые системы выделяются в фундаменте плиты в пределах Томской области. В первой развиты блоковые структуры: горстовые выступы и разделяющие их впадины. Наиболее крупным выступом является Улююльско-Среднечулымский, а также Яйско-Пезасский горст, который протягивается к северу до верховьев р. Тым. На юго-востоке области расположены Алипская, Ажарминская и Тегульдетская унаследованные впадины. Толщина рыхлых отложений в чехле герцинского фундамента составляет 4 — 4,5 км (рис. 2) [5].

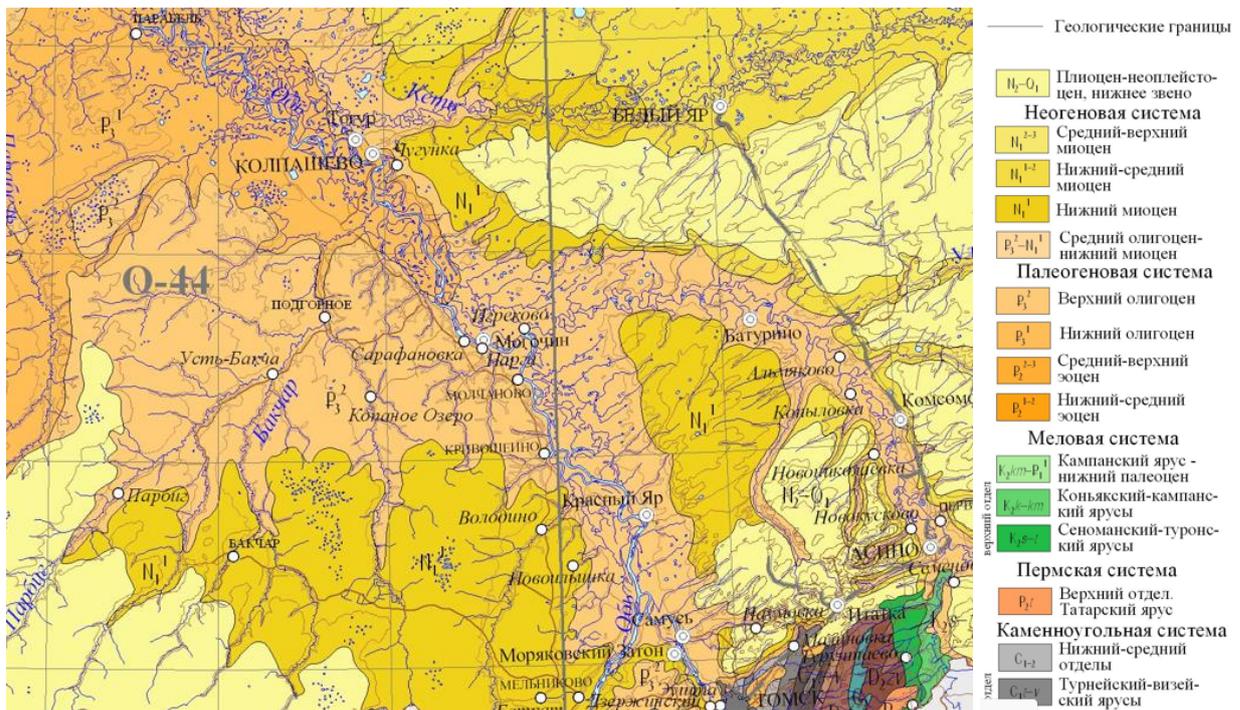


Рисунок 2 – Фрагмент геологической карты Томской области [1].

На неровной поверхности фундамента залегает чехол рыхлых осадочных отложений мезозойско-кайнозойского возраста. Мощность чехла разная: на крайнем юго-востоке области она изменяется от 10 - 50 м, во впадинах — до 5,5 км; в среднем его мощность составляет 1 — 3 км. В осадочных отложениях чехла наблюдается чередование пород морского и континентального происхождения: песчаников, глин, песков. На месте Томской области когда-то было море, его населяли древние кораллы, губки, акуловая рыба и др. Об этом свидетельствуют находки отпечатков морских животных в глинистых сланцах в обрывах [6].

В мезозойско-кайнозойском чехле выделяются отрицательные и положительные тектонические структуры разных размеров — впадины и поднятия. Местами в поднятиях находятся залежи нефти и газа [6].

### 1.3. Особенности рельефа

Рельеф Томской области связан с залеганием в её основании Западно-Сибирской плиты. Большая мощность герцинского фундамента и его спокойное залегание определяют общую равнинность рельефа области. Также, Западно-Сибирскую равнину рассматривают как молодую погружающуюся платформу, что является одной из причин спокойного рельефа равнины и небольших абсолютных высот – до 200 м [4].

На несколько сотен километров тянутся плоские и сильно заболоченные пространства. Максимальная абсолютная высота 258 м лежит на юго-востоке области, куда входят отроги Кузнецкого Алатау. От этой возвышенной части равнина наклонена на

северо-запад. Река Обь протекает в таком же направлении и делит область на две почти равные половины: более возвышенное правобережье (до 193 м) и левобережье (до 166 м). На левобережье расположена северная часть Васюганского болота – крупнейшего болота в мире. Центральную часть области занимает широкой долиной Обь с комплексом террас. Основными орографическими единицами Томской области являются Чулымская, Кетско-Тымская и Васюганская наклонные равнины, а также Обь-Тымская низменность [5].

Бассейн нижнего и среднего течения реки Чулым с его правыми крупными притоками Чичкаюлом и Улууюлом занимает Чулымская равнина. Её абсолютные высоты колеблются от 150 до 180 м, а в верховьях Чичкаюла они достигают 193 м. Поверхность равнины пологоволнистая, на юге увалистая с небольшими плоскими участками, характерны линейные формы рельефа – ложбины древнего стока, которые ориентированы с северо-востока на юго-запад. Чулымская равнина в пределах крупных тектонических впадин — Тегульдетской и Киселевской. Впадины лишь на крайнем востоке опоясываются положительными структурами внешней плитой. В пределах Алипской и Усть-Тымской крупных тектонических впадин, Касского мегавала и разделяющих мелких положительных структур расположена Кетско-Тымская наклонная равнина. Поверхность равнины занимает междуречье Кети и Тыма и характеризуется абсолютными высотами, которые не превышают на востоке 180 м, а к юго-западу – постепенно снижаются до 115 м. Равнина сравнительно плоская, есть слабый уклон к реке Обь, в правобережье Кети территория сильно заболочена. Кетско-Тымская равнина — это инверсионная морфоструктура к древним отрицательным структурам фундамента и осадочного чехла [5].

Васюганская равнина — это гетерогенная морфоструктура, она занимает огромную площадь со сложным тектоническим планом. Сюда входят Нюрольская и Бакчарская впадины, которые разделены Средне-Васюганским мегавалом, Парабельским и Пудинским сводами. В неоген-четвертичное время произошло объединение всех этих структур в одну инверсионную, что достаточно хорошо выделяется в современном рельефе и называется Васюганской равниной. Это относительно приподнятая равнина, но в центральной части плоская и сильно заболоченная. Она занимает бассейны рек Васюгана с притоками, Парабели и Чаи. Абсолютные высоты в истоках р. Бакчар составляют 166 м, а на юго-западе, в верховьях р. Чергала – 142 м. К северу равнина постепенно понижается, по окраине достаточно глубоко расчленена речной сетью [5].

Обь-Тымская низменность занимает в основном широкую долину Оби с комплексом террас. Её поверхность плоская, заболоченная, с абсолютными высотами в пределах от 40 до 100 м [5].

Рельеф области продолжает изменяться под воздействием современных процессов. Среди экзогенных процессов главной является работа текущих вод — их аккумулятивная и эрозионная деятельность. В результате таких действий изменяется рисунок долин рек, а на их берегах случаются обвалы и оползни. Например, река Обь в районе города Колпашево за последние 60 лет разрушила 6 км<sup>2</sup> городской площади, а у поселка Каргасок с 1929 по 1965 г. размывла полосу берега шириной около 850 м [4].

Располагаясь в месте смыкания Усть-Тымской впадины и восточного склона Сенькино-Сильгинского свода, в пределах области долина Оби имеет северо-западное простираие [4].

Обь имеет незначительный уклон и малое падение, что благоприятно для интенсивного развития боковой эрозии. За счет увеличения размеров крутых поворотов и интенсивной боковой эрозии действие реки в пределах своей долины возрастает (рис. 3) [18].

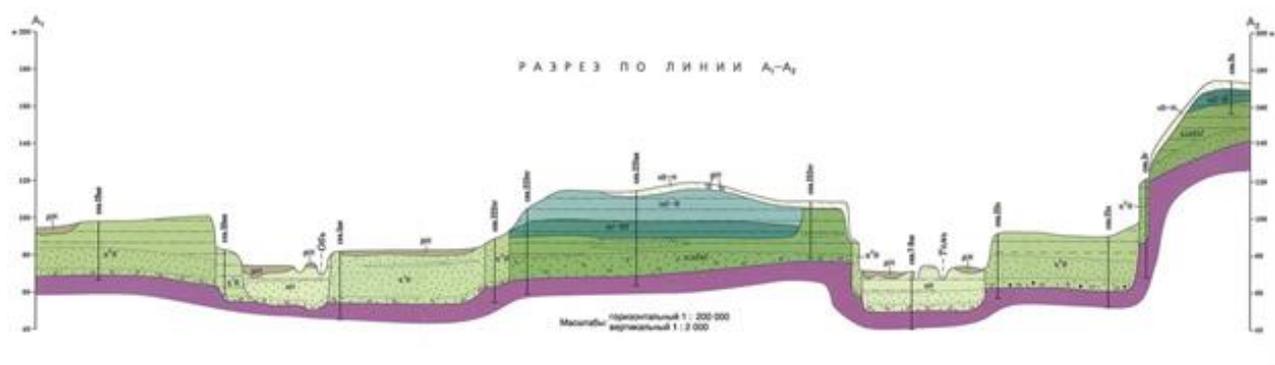


Рисунок 3 – Фрагмент карты поперечного профиля Обь-Томского междуречья [12].

От водоразделов к рекам местность понижается, образуя несколько широких террас. Они свидетельствуют о более высоком положении русел рек в геологическом прошлом. По Б. Г. Иоганзену [7] в пределах области насчитывается до 3—4 террас на Оби и ее левых притоках, на реке Томи выделяются до 6—7, на Чулыме — до 5 террас. Русло реки Оби и большинства ее притоков весьма извилисто, река имеет то коренной правый берег в районе Могочино и Колпашево, то левый в районе села Кривошеино.

По А.А. Земцову [5] на территории Томской области выделяется несколько широтных террас реки Оби: третья эрозионно-аккумулятивная надпойменная терраса развита в правобережье Оби, высотой достигает более 25 м; вторая надпойменная терраса развита в долине Оби ниже города Колпашево, ее высота здесь колеблется в среднем от 18 до 25 м. Строение всей террасы хорошо просматривается в районе города Колпашево. Первая надпойменная терраса имеет высоту от 5 до 12 м, она обнажается у сел Кожевниково, Нарым, Каргасок, Лукашкин Яр, Тымское и др. Мощность ее отложений в

этих местах составляет примерно 25—35 м. Повсеместно распространена низкая пойма ее высота в межень может быть различна – от 3 до 7 метров. Высокая пойма развита локально (сс. Коломино, Усть-Тым, Молчаново и др.), она заливается один раз в 5—10 лет.

В пределах долины реки Оби, пойма имеет тенденцию к расширению. Так, в верхнем течении реки, в районе ключевого участка села Кожевниково ширина поймы значительно меньше, чем в среднем ее течении у села Александровское. Это подтверждается разностью тектонического строения территории – Кожевниково находится в Нижнетомском поднятии, а все остальные ключевые участки, включая территорию села Александровское, находятся в зоне прогиба и опускания территории [5].

#### 1.4. Климат

Климат Томской области связан с ее географическим положением на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, к востоку от Уральских гор. Положение области в умеренных широтах представляет большую изменчивость по сезонам в притоке солнечной радиации на территорию, а также преобладание северо-восточного переноса воздушных масс. Одной из причин неустойчивости погоды служит выровненная поверхность области и ее открытость с севера и юга способствуют свободному проникновению воздушных масс как с территории Арктики. Вторая причина — положение области в центре материка Евразия, из-за чего происходит влияние как с континента, так и с океана [5].

Положение рядом с Обью сказывается и на увеличении скорости ветра в ее долине, отепляющем воздействии, особенно в весенние и осенние сезоны, это влияет на увеличение продолжительности теплого периода. Летом огромная водная поверхность Оби способствует размыванию восходящих токов, поэтому количество осадков, поступающих на территории чуть больше, в сравнении с осадками, поступающими на долину реки [5].

Все особенности формирования климата над областью зависят от взаимодействия двух основных процессов климатообразования – солнечной радиации и циркуляции атмосферы [5].

Солнечная радиация. Она составляет энергетическую базу формирования климата и большинства процессов, которые происходят в географической оболочке, именно она приводит в движение атмосферу [4].

При нагревании воздуха от земной поверхности часть тепла уходит в атмосферу. Это — эффективное излучение, и оно происходит в ясные дни и ночи. В умеренных широтах величина тепла достигает 50% от энергии, которая была затрачена на нагревание

поверхности. Сильно влияет на отражение (альбедо) и поглощение радиации также характер поверхности [4].

Радиационный баланс и суммарная радиация имеют ярко выраженный годовой ход. На севере области в Александровском его годовая величина составляет 26,8 ккал/ (см<sup>2</sup> /год), в Колпашево — 30,8 ккал/ (см<sup>2</sup> / г од) и Новосибирске — 36,5 ккал/ (см<sup>2</sup> /год) [4].

Атмосферная циркуляция. Воздушные массы, их движение, трансформация и образование атмосферных фронтов в переходных зонах, на границах воздушных масс принято называть циркуляцией атмосферы [4].

Преобладание в умеренных широтах северного полушария западного переноса воздушных масс считают один из важнейших факторов формирования климата области. Кроме того, большое значение в циркуляции умеренных широт приобретают возникающие и перемещающиеся здесь циклоны и антициклоны, которые представляют собой атмосферные вихри с диаметром порой в несколько тысяч километров [4].

Томская область, как часть Западно-Сибирской равнины и часть всей поверхности Земли, так же подвержена влиянию общей атмосферной циркуляции воздуха. Из этого следует, что характер области складывается благодаря нескольким факторам, один из них – это атмосферная циркуляция над Восточно-Европейской равниной, на которую действуют воздушные массы, идущие с территории Атлантического океана – западный перенос воздушных масс в умеренных широтах. Уральские горы, вытянутые меридионально и являющиеся средневысотными, не представляют для него существенного препятствия, и движущиеся на восток циклоны обходят Урал и с севера, и с юга. Они также пересекают его и в средней, наиболее пониженной, части [4].

Таким образом, Урал не только не препятствует продвижению циклонов с Восточно-Европейской равнины на Западно-Сибирскую, но и способствует усилению над ней деятельности циклонов. Кроме того, на циклон, который перевалился через Урал, действует с севера холодный арктический воздух, что способствует еще большей разнице свойств между двумя соседними воздушными массам. Циклон продолжает двигаться на восток с повышенной скоростью более 40 км/час [4].

По всей области среднегодовая температура воздуха отрицательна и изменяется от -0,6° в Томске до -3,5° в Ванжиль-Кынаке (северо-восток области). Амплитуда температуры воздуха составляет 98°, а разница между средними температурами самого теплого и самого холодного месяцев года равна 41°. Из этого следует, что климат Томской области континентальный [4].

## 1.5. Поверхностные воды

Речная сеть Томской области довольно густая. Наиболее крупной рекой области является река Обь. В своем среднем течении Обь пересекает область с юго-востока на северо-запад, протягиваясь на 1065 км. Для долины реки характерна большая пойма, где река сильно меандрирует, а русло извилистое с большим количеством островов. У Оби большое количество притоков, в числе которых крупные реки Тымь, Чулым, Чая, Кеть, Парабель, Васюган, Тым [3]. (рис. 4)

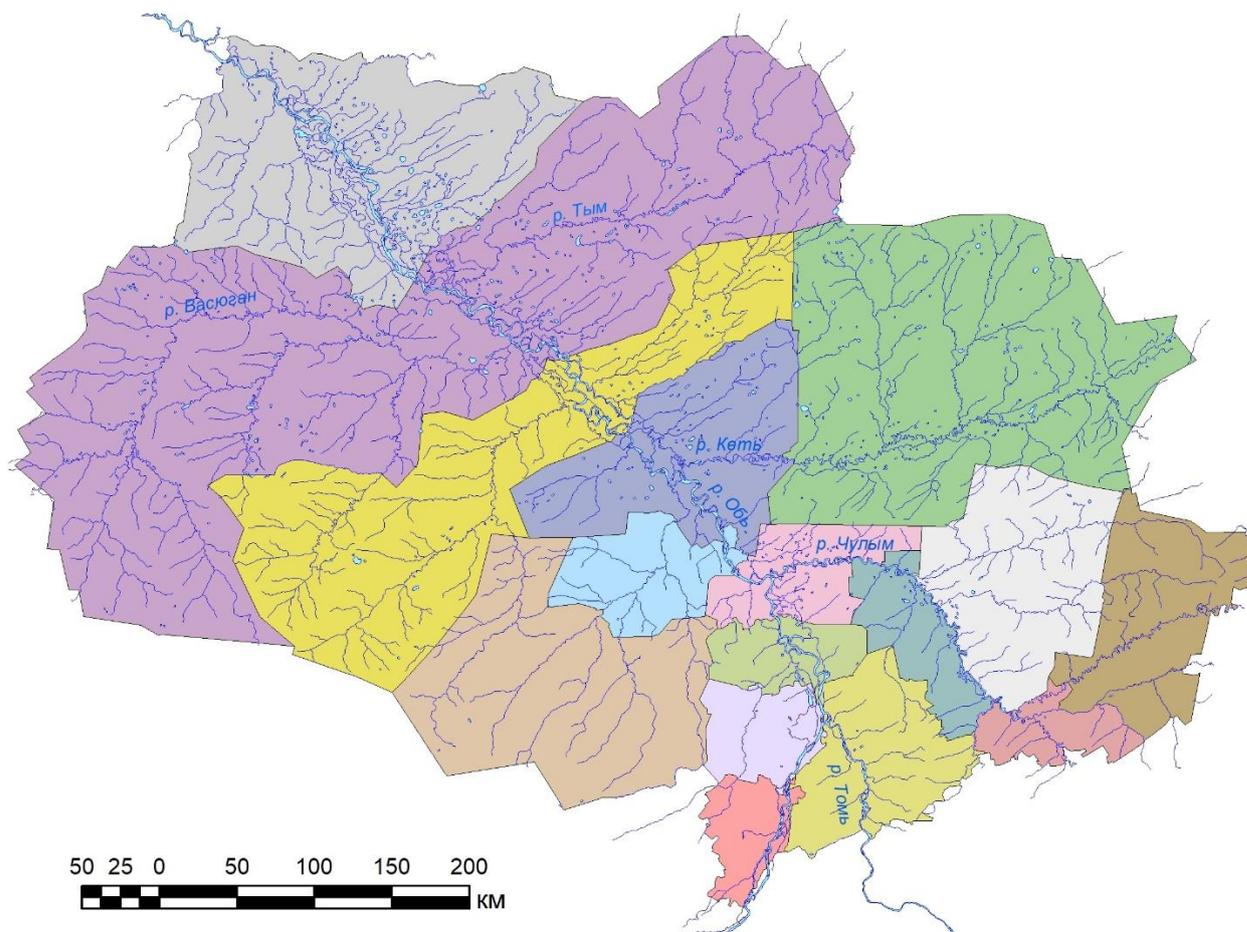


Рисунок 4 – Карта крупных рек Томской области

Основными источниками питания рек Томской области являются зимние осадки, которые формируют 55-82% годового стока, на долю подземных вод приходится 10 - 40%, а дождевого - 3 - 11%. По водному режиму реки относятся к западно-сибирскому типу; такие реки имеют длительное весенне-летнее половодье (примерно 2-3 месяца), а высота подъема на разных реках может варьироваться от 3 до 11 м, так на реке Тымь в районе Ванжилькынака она составляет 7,2 м; на Кети достигает до 7,5 м в верховьях и 3-5 м - в низовьях; на реке Чулым высота может быть до 7-9 м, а на Томи и Оби — 10-11 м. На реках севера области наблюдалось затопление большого количества населенных пунктов

(более 50), больших площадей пахотных земель и сенокосов и т. д [3]. Продолжительность свободного ото льда периода для Средней Оби (рис. 5) составил со 165 до 170 дней [19].



Рисунок 5 – Река Обь в с. Каргасок (Фото В.В. Хромых, 2019 г.)

Происхождение большинства озер Томской области связано с эрозионно-аккумулятивной деятельностью рек. Озера встречаются на территории речных террас и на поверхности озерно-аллювиальных равнин; в ложбинах древнего стока озера расположены в виде цепи, соединенной небольшими водотоками. Самое большое количество озер наблюдается в поймах рек. Так, на 1 км<sup>2</sup> обской поймы в северных, районах области приходится 11,5 га водоемов, между Кривошеино и Александровским в пойме насчитывается около 3000 водоемов [7].

### **1.6. Растительность и почвы**

Благодаря положению в пределах юго-востока Западно-Сибирской равнины сформировался не только выровненный рельеф, но и своеобразие растительного покрова Томской области. На растительность влияют так же значительная протяженность области с севера на юг, господство рыхлых четвертичных отложений, слабая дренированность и континентальностью климата. Эти факторы обуславливают следующие основные особенности растительного покрова [5]:

1. Четко выраженная зональность. Согласно современному зональному делению, территория области входит в состав двух природных зон — тайги и лесостепи. Им

соответствуют подзоны - средне- и южно-таежных лесов, осиново-березовых (подтаежных) лесов, северной лесостепи.

2. Исключительно широкое развитие заболоченности. Средняя заболоченность территории составляет около 40 %, а в отдельных районах (Васюганье, Кеть-Тымское междуречье) она достигает 70— 75 %. Болотная растительность несет в себе черты зональности. Территория же области входит полностью в зону выпуклых олиготрофных сфагновых болот [5].

3. Широкое развитие поемности и аллювиальности в долинах крупных рек. Под поемностью подразумевается продолжительность затопления и высота слоя затопления поймы. Ширина поймы реки Оби достигает на отдельных участках более 40 км, составляя в среднем 20— 25 км. Помимо Оби поймы хорошо развиты в долинах рек Томи, Чулыма, Кети, Васюгана и Тыма. Длительные весенне-летние половодья создают условие для формирования в поймах рек огромных массивов естественных заливных лугов, которые являются ценными кормовыми угодьями. Такие специфические черты растительного покрова Томской области сильно проявляются в его генетических структурных и динамических особенностях [5].

В результате почвообразовательных процессов и факторов почвообразования на территории области выделяются три рода почв: автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные [5].

Автоморфные почвы занимают около 30% территории области, и они приурочены к повышенным незаболоченным элементам рельефа. Такие почвы делятся на три типа: подзолистые, серые лесные и черноземы [5].

Полугидроморфные почвы занимают свыше 35% территории, и они распространены очень широко. Главным образом почвы приурочены на севере к пологим слабо дренированным склонам междуречий, а на юге встречаются в центральных частях междуречий и под заболоченными лесами в многочисленных понижениях рельефа. Наиболее распространенным типом полугидроморфных почв являются болотно-подзолистые — переходные от подзолистых почв к болотным, в таких почвах сочетаются болотный и подзолообразовательный процессы. Основным условием формирования данных почв является избыточное увлажнение, вызываемое скоплением поверхностных или близким залеганием к поверхности почвенно-грунтовых вод [5].

Гидроморфные почвы занимают около 35 % площади области и характеризуются доминированием на болотах болотного почвообразовательного процесса, а в поймах рек — поемного. Наиболее широко такой тип представлен в качестве болотных верховых почв и различных типов пойменных почв [5].

Основные массивы подтаежных сосновых лесов находятся на Обь-Томском междуречье с примыкающими к нему высокими террасами Оби и Томи [5]. (рис. 6)



Рисунок 6 – Сосновые леса на Обь-Томском междуречье (Фото автора, 2021 г.)

## ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РЕЛЬЕФА В ГИС ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОТОВОЙ СВЯЗИ

### 2.1. Виды цифровых моделей рельефа (ЦМР)

Информационную основу геоинформационных систем (ГИС) образуют цифровые представления (модели) реальности. Все множество данных с появлением в жизни человека компьютера разделилось на два типа: аналоговые и цифровые данные. Аналоговые данные используют как антоним цифровым. Эти данные представляют собой традиционную форму представления на «бумажных» носителях, в то время как цифровая форма представления, хранения и передачи данных реализуется в виде цифровых кодов или цифровых сигналов [8].

О цифровых моделях объектов говорят, когда рассматривают данные, по отношению к описываемым объектам, а к пространственным объектам в геоинформационных системах применительно – цифровые модели пространственных объектов. Цифровые по форме, по своей сути модели пространственных данных относятся к типу информационных моделей, которые отличны от реальных (физических), математических, мысленных или моделей особого типа, например, картографических [8].

Первые эксперименты по созданию ЦМР относятся к первой половине 60-х годов XX века, ранним этапам развития геоинформатики и автоматизированной картографии. С тех пор и по сей день разработаны методы и алгоритмы решения различных задач, созданы программные средства моделирования, крупные, в том числе национальные и глобальные, массивы данных о рельефе, накоплен опыт решения с их помощью разнообразных научных и прикладных задач [8].

Под цифровой моделью рельефа (ЦМР) А.М. Берлянт понимал: совокупность (массив, файл) высотных отметок, взятых в узлах некоторой сети точек с координатами  $x$ ,  $y$  и закодированных в числовой форме. Это средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей или рельефа) в виде трехмерных данных, которые образуют множество высотных отметок (отметок глубин) и иных значений аппликата (координаты  $Z$ ) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний [8].

Обычно первичные данные ЦМР имеются или с использованием тех или иных операций приводят к одному из двух наиболее широко распространенных представлений поверхностей (полей) в ГИС: растровому представлению (GRID) и модели (TIN) (рис.7 и 8) [8].

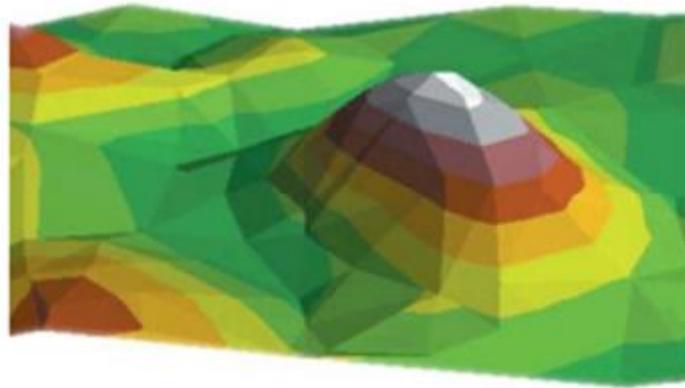


Рисунок 7 – Трехмерное отображение триангуляционной модели рельефа (TIN) [16].

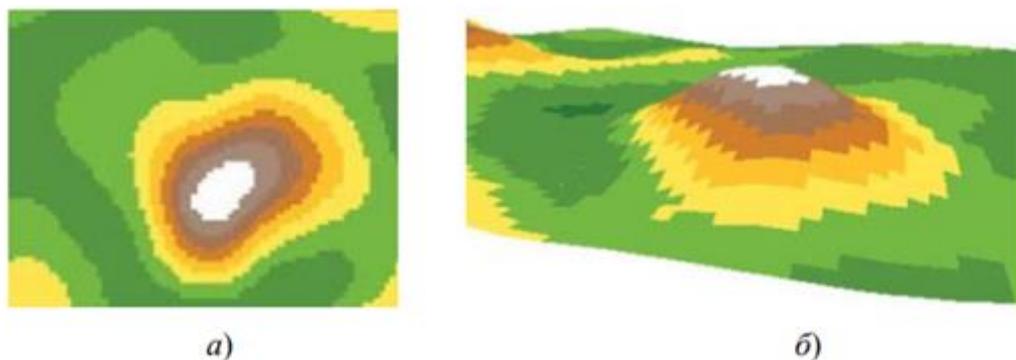


Рисунок 8 – Трехмерное отображение регулярной модели рельефа: а) регулярная сеть; б) трехмерное отображение рельефа [16].

Растровая модель рельефа (GRID) разбивает пространство на неделимые элементы (пиксели), тем самым образуя матрицу высот – регулярную сеть высотных отметок. Регулярная сеть высот визуально выглядит как решетка с равными прямоугольниками или квадратами (ячейками), где вершины этих фигур являются узлами сетки. Подобными цифровыми моделями рельефа пользуются многие национальные картографические службы стран мира.

При создании регулярной сети высот следует учитывать такую особенность как плотность сетки (шаг сетки), которая определяет пространственное разрешение. Чем меньше выбранный шаг, тем точнее ЦМР – выше пространственное разрешение модели, но тем больше количество узлов сетки, следовательно, требуется больше времени на расчет ЦМР и больше места на диске.

Для того, чтобы восстановить любую точку поля высот в узле регулярной сети по множеству заданных высотных отметок обычно принято применять методы интерполяции (кригинга, Шепарда, полиномиального и кусочно-полиномиального сглаживания). Также

пути интерполяции, аппроксимации, сглаживания и иных трансформаций к растровой модели могут применяться ЦМР всех иных типов [17].

Что касается нерегулярных сеток, то чаще всего тут большую популярность приобрела треугольная сеть неправильной формы – модель TIN. Она используется для цифрового моделирования рельефа и представляет собой отдельно расположенные точки, соединяющиеся линиями, образуя треугольники, поверхность которых представляется плоскостью. Так как поверхность каждого треугольника задается высотой каждой из трех его вершин, применение модели обеспечивает участку вид мозаики, тем самым плотное прилегание к соседним участкам и непрерывное покрытие расположения точек. Каждый треугольник имеет информацию об атрибутах угла наклона и экспозиции, что помогает создать большое количество тематических карт – гипсометрическую, экспозиции и уклонов поверхности – а также предполагает создание сложного пространственного анализа [17].

Триангуляция Делоне в сравнении с другими методами обладает наибольшим количеством важных свойств для ЦМР: свойство максимальности минимального угла и минимальности площади образуемой многогранной поверхности, наименьший индекс гармоничности как сумму индексов гармоничности каждого из образующих треугольников (близость к равноугольной триангуляции). Это делает данную модель основным методом расчёта TIN [17].

Пространственная организация исходных данных о рельефе как множестве опорных точек модели (точек с известными высотными отметками) различна. Распределение точек может быть регулярным, структурным и хаотичным. С учетом технологии получения и предобработки можно выделить системы высотных отметок рельефа в случайно расположенных точках – узлах нерегулярной сети, которые получают, например, в результате тахеометрической съемки, в частично упорядоченных множествах точек (инженерные изыскания); в узлах регулярных решеток – специальные виды площадного моделирования, цифровая фотограмметрическая обработка, предварительная обработка других моделей, линейно упорядоченные множества точек, которые получают путем цифрования карт, полностью или частично упорядоченные множества точек, генерируемые в процессе фотограмметрической обработки стереомоделей местности (рис. 9) [8].



Рисунок 9 - Общая схема создания ЦМР [9].

### 2.3. Источники данных для получения цифровых моделей рельефа

В современном создании цифровых моделей рельефа используется несколько источников информации: крупномасштабные топографические карты, данные дистанционного зондирования и материалы полевых инструментальных съёмок [17].

Топографические карты и планы относятся к картографическим источникам, к которым так же можно отнести и морские навигационные карты. Рельеф суши на топографических картах обычно представляется в виде 1) горизонталей или изогипс, 2) отметок высот и 3) совокупности внемасштабных площадных и линейных знаков. К последним относятся овраги, обрывы, осыпи и т.д. При создании ЦМР с топографической карты следует произвести цифровое преобразование рельефа с помощью используемой ГИС [8].

У топографической карты как источника данных есть несколько недостатков. Первый – изображение рельефа горизонталями. Карты масштаба 1: 500 000 и мельче не используются при создании ЦМР, так как прежде всего ставится задача правильного отображения орографических форм рельефа местности путем положения линий и точек. В картах более крупного масштаба отдается предпочтение более подробному расположению горизонталей с возможностью их небольшого смещения [8].

Второй недостаток заключается в том, что на топокартах горизонтали имеют заданный допуск точности, который зависит от масштаба, характера рельефа и ландшафта, в соответствии с нормативными документами. Так, помимо высоты сечения и рельефа

горизонталями, на картах крупного масштаба, выполненных в результате топографических съемок, еще и определяется средняя погрешность съемки [8].

Третьим недостатком являются вспомогательные и дополнительные горизонтали. Дополнительные горизонтали – это полугоризонтали, которые также должны учитываться при построении ЦМР. Вспомогательные горизонтали проводятся на произвольной высоте, они также могут быть подписаны на карте, но если подписей у них нет, то их отображение на ЦМР невозможно [8].

Четвертый недостаток – это отсутствие на карте изображения рельефа дна океанических акваторий и дна внутренних водоемов, для чего часто на карте акваториям присваиваются отметки уреза воды на конкретной территории [8].

Помимо приведенных недостатков есть некоторые особенности, такие как толщина горизонталей, которая должна быть 0,2 мм, и количество горизонталей. Инструкциями допускается искусственное слияние горизонталей и их «укладка» или «раздвижение» – искусственное увеличение расстояния между соседними горизонталями для предотвращения их слияния. Но оба приема искажают местность и являются ошибками. Также важным условием к программным средствам создания ЦМР является отсутствие пересечений горизонталей на карте, даже если они одноименные и замкнутость каждой горизонтали. Она может быть замкнута на себя или на рамку карты, и это обеспечивает отсутствие разрывов горизонталей на ЦМР [8].

Еще одной особенностью, связанной с рельефом, может быть недостаточность горизонталей. Тогда для правильного построения ЦМР могут быть использованы другие высотные обозначения такие как высотные отметки, отметки урезов воды, знаки оврагов, воронок и пр. Они способны повысить качество и точность построенной модели. Для горных же местностей для качественной ЦМР желательно использование материалов аэрофотосъемки [8].

Аэрофотосъемка масштабно используется для контроля качества ЦМР. С их относительно крупномасштабной стереомодели берутся контрольные точки со значениями высотных отметок, точность которых заведомо намного выше, чем у верифицируемой модели. В последнее время для создания крупномасштабных стереомоделей всё чаще используются сканерные и радарные космические снимки высокого разрешения [17].

Процедуры выявления высот с ДДЗ также имеют некоторые недостатки. При плотной городской застройке, а также высокой залесенности территории, выполненная ЦМР в основном будет показывать геометрию сооружений и зданий или полога леса и требовать участия оператора в автоматизированный процесс построения. В зарубежной литературе, посвященной цифровым фотограмметрическим методам создания ЦМР,

принято различать собственно «цифровую модель рельефа» (Digital Terrain Model, DTM; Digital Elevation Model, DEM) и «цифровую модель поверхности» (Digital Surface Model, DSM), понимая под последней «рельефоид» – откорректированный (нерафинированный) набор высотных данных, отражающих внешнюю поверхность крон или крыш зданий, а также любых иных «надповерхностных» рельефов [14]. Но помимо фотограмметрии ДДЗ принимает участие в создании «реалистичных» моделей – систем виртуальной реальности для «обтягивания» трехмерных моделей рельефа. Также модели весьма показательны при изучении динамики геосистем, когда используются разновременные ДДЗ [17].

Несмотря на достаточно прогрессивный процесс использования дистанционного зондирования, материалы с полевых съемок остаются одним из самых точных источников информации для цифровых моделей рельефа. Но изменения есть, и они касаются модернизации инструментария для полевых съемок [17].

Для измерения расстояний на местности используются дальномеры. Более древний аналог дальномера – это рулетки (стальные и тканевые), более современный – лазерные дальномеры. Основной принцип работы лазерного дальномера заключается в том, что он излучает лазерный луч, который отражаясь от объекта, фиксирует расстояние, засекая время хода луча до исследуемого объекта [17].

Оптические нивелиры используются для измерения превышений на территории, так нивелир устанавливается на треногу и состоит горизонтальной зрительной трубки, которая установлена на вращающемся вокруг вертикальной оси горизонтальном круге.

Современный аналог оптического нивелира – лазерный нивелир (лазерный уровень). Он используется также для измерения превышений, состоит из лазерного излучателя, который устанавливается на горизонтальном быстровращающемся круге. Перед началом работы такой лазерный уровень следует установить оператором горизонтально с помощью встроенного уровня и регулировочных винтов. Далее прибор включается и вокруг него в пространстве появляется видимая человеческим глазом красная плоскость. Для того, чтобы измерить уровень Земли в необходимой точке, вокруг лазерного нивелира устанавливают обычную измерительную линейку, после чего остается записать значения, которые получились от пересечения лазерного луча с установленной линейкой [17].

Теодолит – инструмент, который позволяет измерить вертикальные и горизонтальные углы. Теодолит также состоит из горизонтальной зрительной трубы и вертикального круга, установленных на подставках вращающегося вокруг вертикальной оси горизонтального круга (лимба) с алидадой. Перед началом работы с прибором оператору следует с помощью регулировочных винтов установить его таким образом,

чтобы теодолит находился строго в горизонтальном положении, для этого в прибор встроен уровень. После этого можно производить съемку. Для этого оператор наводит на отражатель или измеряемый объект визир оптической трубы теодолита, а после этого записывает вертикальные и горизонтальные углы, которые показывает прибор [17].

Прибор, который совмещает в себе теодолит и дальномер, называют тахеометром. Современные электронные тахеометры включают в себя микрокомпьютер, который показывает на экране дисплея вычисленные углы и расстояния, а также сразу преобразовывают эти значения в виде координат сразу на местности. Тахеометры могут быть отражательные и безотражательные. Отражательным тахеометрам для работы необходимы отражатели, которые устанавливаются на вешках. Безотражательные тахеометры в своей работе используют действие лазерного луча, который может отражаться от любых объектов на местности [17].

Очень схоже действие безотражательных тахеометров, которые измеряют углы и расстояния до любых выбранных объектов, и лазерных сканеров, но последние выполняют все измерения не по одной указываемой оператором точке, как это делают тахеометры, а сразу пакетами точек. Сканеры перемещают лазерный луч по вертикали и горизонтали, снимая подряд все объекты, попадающие на пути. При такой съемке образуется достаточно плотная сеть точек [17].

Также одним к устройствам полевых съемок можно отнести работу с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). На борту БПЛА устанавливаются цифровые камеры. Для фотограмметрической обработки данных, получившихся во время аэросъемки, и получения максимально точных результатов необходимо сделать так, чтобы снимки в одном маршруте имели тройное перекрытие, а перекрытие между снимками соседних маршрутов составляло не менее 20% [13].

В цифровых фотограмметрических системах обработка снимков аэрофотосъемки с БПЛА весьма аналогична обработке аэрофотоснимков с «больших самолетов». Как и при обработке других данных в системе нужно создать проект, в который вводятся получившиеся с борта снимки и телеметрическая информация. На основании данных о центрах проекции и углах создается наглядный монтаж и разбивка территории по маршрутам. Такие операции как, например, расстановка связующих точек, удаление снимков, попавших в развороты БПЛА, в программах нужно делать самостоятельно в ручном режиме – это одни из особенностей работы с данными БПЛА [13].

Далее следуют процедуры автоматического измерения связующих точек, после этого процедура их уравнивания и исправления ошибок в уравнениях и построениях, а дальше также как и при стандартной работе с помощью автоматизированного

программного обеспечения в зависимости от материала строятся детальные 3D модели местности, матрицы высот и ортофотопланы (рис. 10) [13].

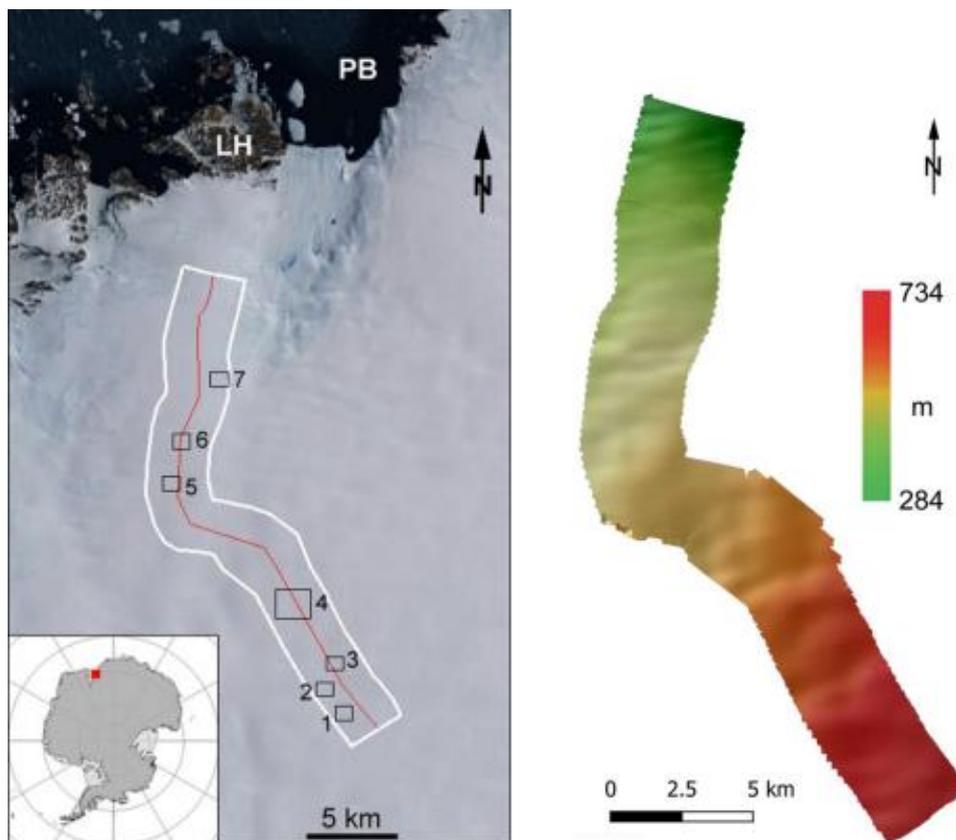


Рисунок 10 – Начальный участок трассы санно-гусеничного похода от станции Прогресс до станции Восток (длина примерно 30 км, ширина примерно 3 км) и созданная на основе данных с БПЛА ЦМР, разрешение 1 м [15].

Следует также заметить, что для работы с беспилотными летательными аппаратами, их следует зарегистрировать, а для работы с ними даже пройти обучение. Все правовые аспекты использования борта прописаны в Воздушном кодексе РФ, который регулирует использования воздушного пространства РФ и все действия в данной отрасли. Также существует свод правил на уровне федерации, где прописан порядок использования воздушного пространства для беспилотников всех стран. Правила характеристик беспилотника прописаны в «Правилах учета беспилотников гражданских судов», а правила прохождения подготовки к использованию воздушного суда прописаны в федеральных авиационных правилах. За нарушение правил отвечает статья 11.4 КоАП РФ.

### 2.3. Применение цифровых моделей рельефа

ГИС могут быть использованы в разных направлениях:

- «ГИС- геология»
- «ГИС земельного кадастра»

- «ГИС-дороги»
- «ГИС-наводнения»
- «ГИС гидросооружений»
- «ГИС водного хозяйства»
- «ГИС- экология»
- «ГИС особо охраняемых природных территорий»
- «ГИС нефтегазопроводов»
- «ГИС- население» и др. [8].

Цифровые модели рельефа и производные от них морфометрические карты также могут быть применены в самых разных направлениях, научных исследований и областях народного хозяйства. Изучение подобных характеристик позволяет выявить и уточнить проявление некоторых природных динамических процессов и явлений, например, снежные лавины, камнепады, оползни, сели и развитие различных форм эрозии [2].

В возможных решаемых задачах с использованием цифровых моделей рельефа (ЦМР) выделяют такие основные как: изучение и количественная оценка современного состояния природной среды; территориальное планирование (городское, ландшафтное и др.); моделирование экологических ситуаций; прогнозирование ландшафтных процессов и др. [2].

Для использования в географических исследованиях, при планировании, проектировании и других целей большие возможности представляет автоматизированное составление карт углов наклона. В сельском хозяйстве такие карты используют при планировании севооборотов и очередности проведения сельскохозяйственных работ, землеустройстве, определении условий снегонакопления на полях, оценке развития овражной эрозии. Параметры углов наклона учитываются при разработке новых моделей сельскохозяйственной и транспортной техники, проектировании трасс автомобильных и железных дорог, трубопроводов, строительстве промышленных и бытовых зданий, разработке гидромелиоративных систем. При съемке шельфа для определения скорости изменения глубин, выбора расстояния между съемочными галсами и высоты сечения рельефа также возникает необходимость определения углов наклона дна. При знании экспозиции склонов, можно уточнять графики проведения сельскохозяйственных работ, определять сроки готовности пахоты к проведению агромероприятий, оценивать влияние различных погодных условий на рост и созревание растений, состояние лугов и пастбищ. Значение этих карт велико и для дорожной службы, где по ним делают прогноз возникновения снежных заносов и других неблагоприятных явлений, которые затрудняют

работу автомобильного и железнодорожного транспорта, составляют расчеты расхода топлива по отдельным участкам трасс и т.п [10].

При экологических исследованиях производные морфометрические карты могут быть очень полезны. С их помощью можно проследить распределение вещества, тепла и влаги по территории, продемонстрировать пути миграции вещества, ареалы его возможного накопления и смыва, что важно для анализа направлений распространения загрязнения и прогноза его развития; провести районирование территории и выделить отдельные формы рельефа, например, особенно подверженные накоплению загрязняющих веществ [10].

#### **2.4. Моделирование зон видимости и их применение для оптимизации размещения сотовой связи**

Инструмент «Создать область видимости» используется для определения областей, которые будут видны из указанных точек наблюдения. В нашей работе данный инструмент будет использован для оптимизации размещения вышек сотовой связи при помощи цифровых моделей рельефа [11].

Моделирование полей видимости — это одна из классических задач в геоинформатике. Оно применимо в случаях, когда необходимо рассчитать обеспечена ли прямая видимость между двумя точками, находящимися на земной поверхности или над ней, либо выделить окружающую территорию, для которой будет обеспечена прямая видимость из заданной точки пространства. Задача построения полей видимости наиболее часто возникает при проектировании и моделировании различных систем связи и управления (сотовых сетей, радиолокационных систем и т. д.) [11].

На наличие видимости между парой точек оказывают влияние четыре группы факторов:

— рельеф земной поверхности, который непосредственно влияет на наличие прямой видимости между двумя точками, расположенными на земной поверхности или над ней;

— кривизна земной поверхности, влияние которой сказывается на больших расстояниях и сходно с влиянием рельефа;

— физические факторы, связанные с характером среды, такие как атмосферная рефракция и характеристики прозрачности воздуха;

— физические факторы, связанные с «наблюдателем», для которого моделируется область видимости, такие как мощность сигнала и его затухание, уровень помех и т. д. [11].

Основной функцией для расчёта области видимости из точки служит функция «Видимость», которая находится в диалоговом окне ArcToolbox в программе ArcGIS, во вкладках «Инструменты Spatial Analyst» - «Поверхность» – «Видимость», где уже для пункта «Видимость» задаются нужные параметры во всех полях (рис. 11).

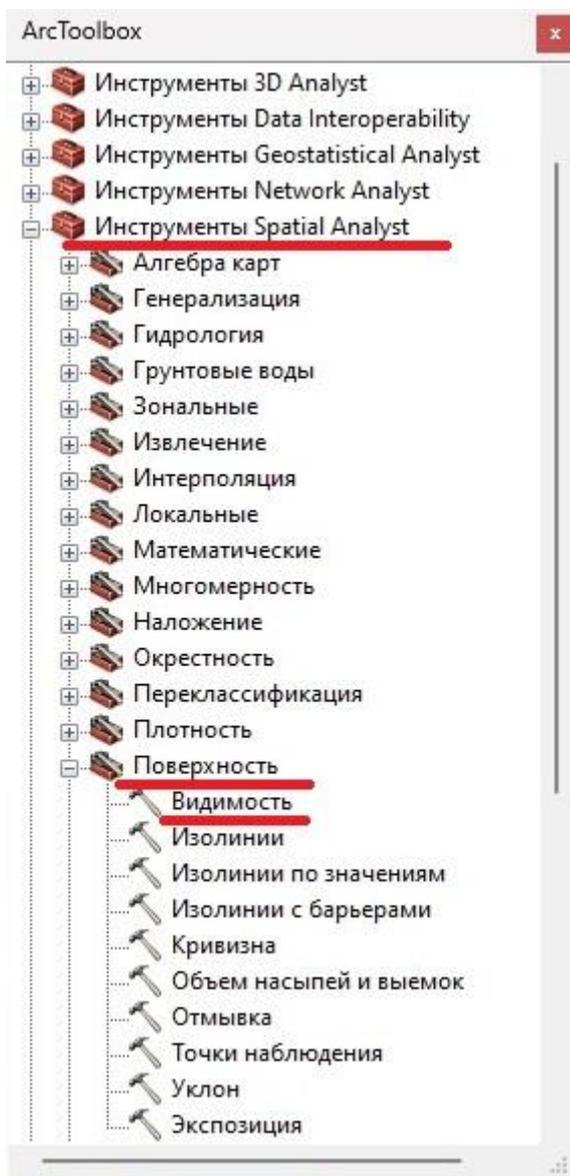


Рисунок 11 – Диалоговое окно ArcToolbox в программе ArcGIS (ESRI Inc.)

Порой визуального отображения разных зон видимости мало. Для более глубокого анализа требуется процентное соотношение видимой зоны к общей площади жилой застройки для разных вариантов вышек. Для этого можно использовать инструмент «Вырезать», который находится в окне ArcToolbox во вкладках «Управление данными» - «Растр» - «Обработка растра» - «Вырезать» (рис.12).

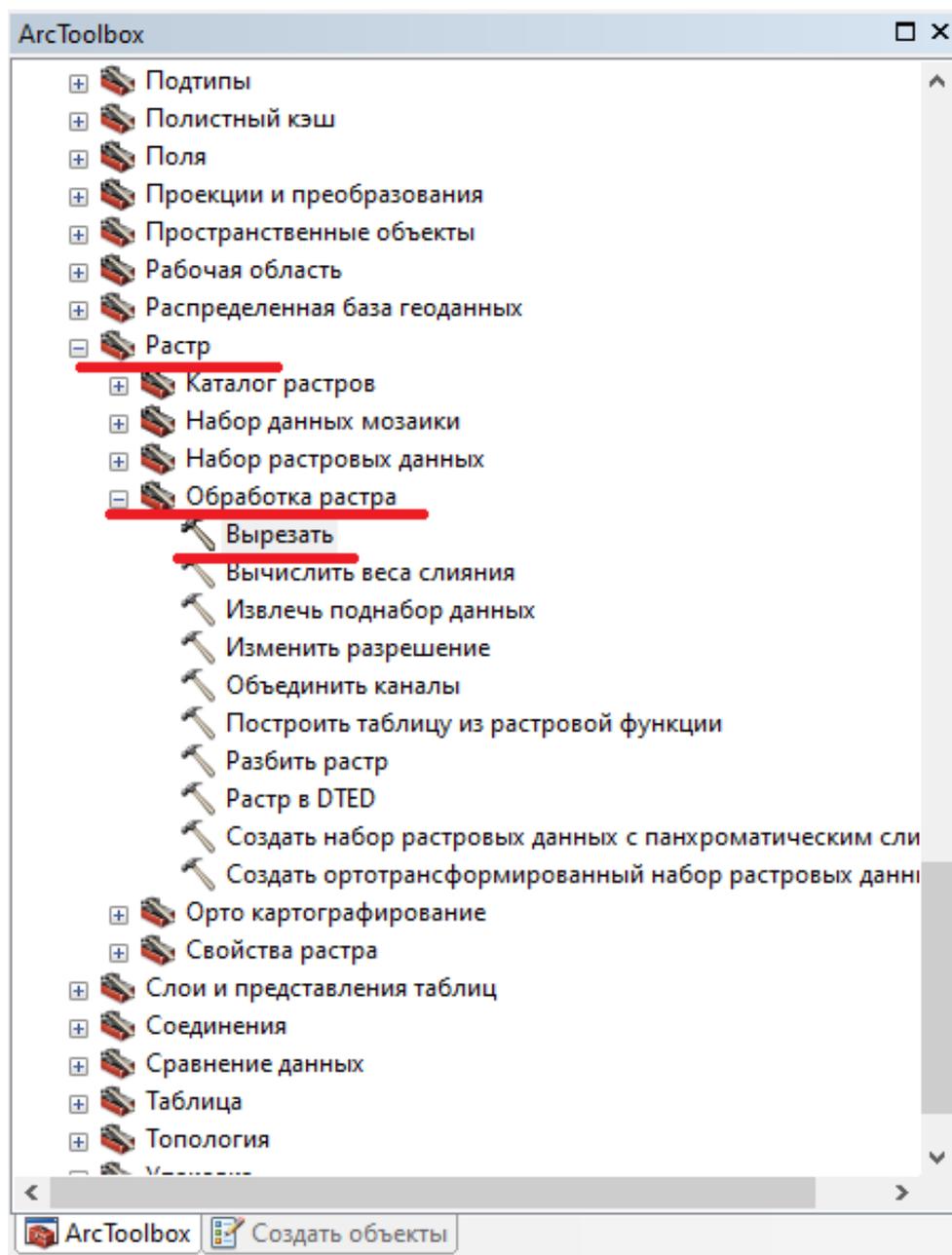


Рисунок 12 – Диалоговое окно ArcToolbox в программе ArcGIS (ESRI Inc.)

Предварительно для работы следует выделить область жилой застройки и использовать ее в качестве выходного экстенда, а в качестве входного растра используется уже упомянутая выше зона видимости. После пересчета программой данных, заходим в таблицу атрибутов для получившегося слоя, где область со значением «0» соответствует области невидимости; ее следует разделить на общую площадь жилой застройки и умножить на 100% для поиска доли от числа (рис. 13). С помощью данного инструмента в дальнейшем можно, например, сравнить покрытие двух вышек, с целью выделить наиболее удачную вышку для установки.

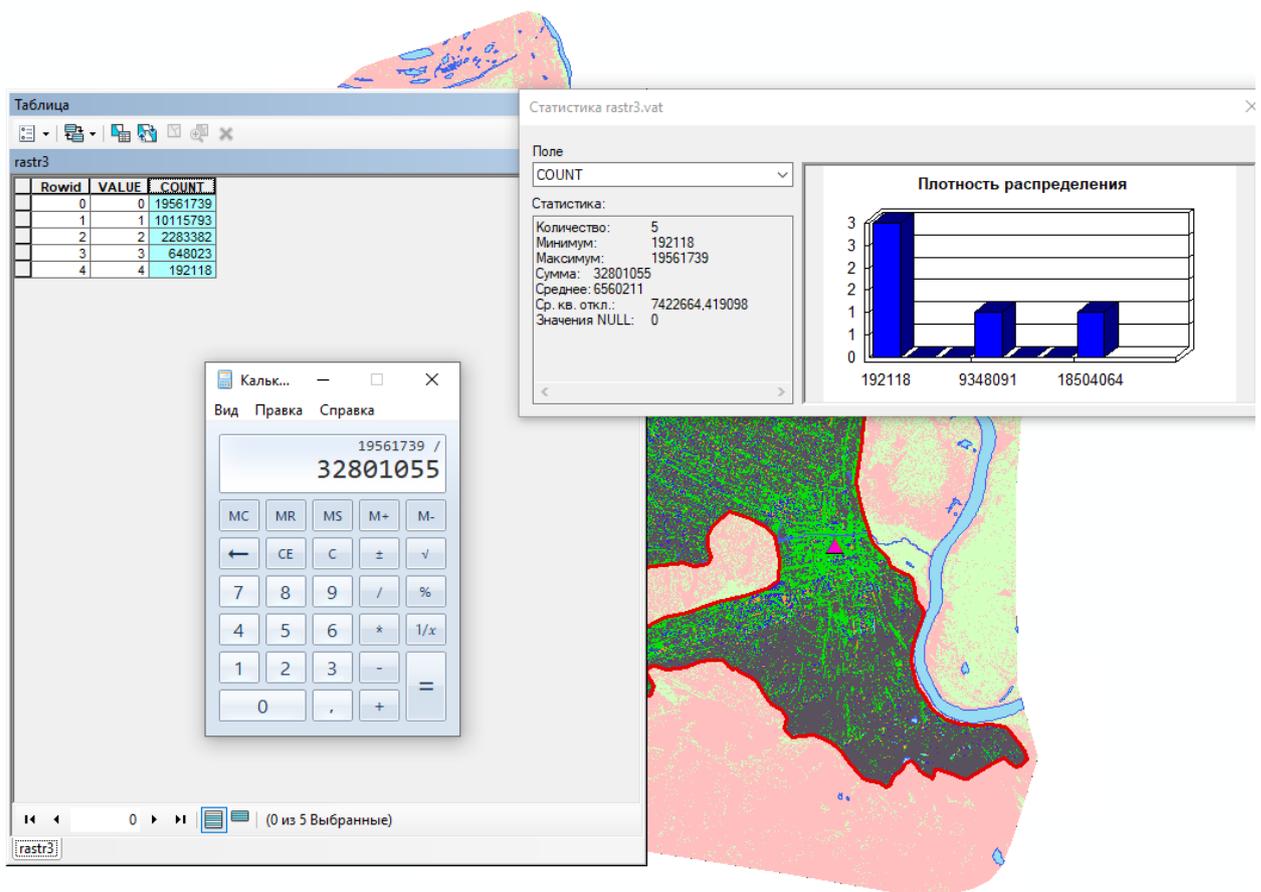


Рисунок 13 – Определение доли невидимой зоны от площади жилой застройки в программе ArcGIS (ESRI Inc.)

На каких расстояниях возможен прием сигнала сотовой связи? Евгений Радист [22], один из ведущих специалистов по радио и сотовой связи отмечает, что радиосигнал – это аналоговая связь, сигнал при ней не оцифрован, более современный сигнал – это сигнал GSM 3G и LTE 4G, который используется в мобильных телефонах. Такой вид сигнала оцифрован и не столько мощность и высота будет зависеть от качества приема, сколько максимальное расстояние – 36 км, при котором можно получить сигнал с усилителем. Особенности данной связи автор называет то, что на большой высоте длина волны меньше, и то, что чем дальше источник излучения (базовая станция), тем слабее сигнал.

Зоны покрытия сотовой связи зависят от многих факторов, включая местоположение вышки сотовой связи, её высоту и мощность, а также дальность действия вышки. Например, анализ видимости вышек сотовой связи в округе Лос-Анджелес, позволил глубже понять реальные изменения, которые мы можем внести для увеличения покрытия связи. Для этого в округах, которые подвержены землетрясениям, многие городские власти сосредоточились на строительстве более надежной системы вышек сотовой связи, поскольку это имеет решающее значение для выявления регионов,

наиболее пострадавших во время землетрясений. Маргарет Ву составила и представила карту, в которой дала рекомендации в установке трех новых вышек в районах, наиболее подверженных землетрясениям и где система связи наиболее уязвима, опираясь на цифровую модель рельефа (рис. 14) [20]. Данная работа является еще одним примером правильного планирования инфраструктуры и непосредственного применения в реальных условиях.

### 3 Towers Added at Optimal Locations

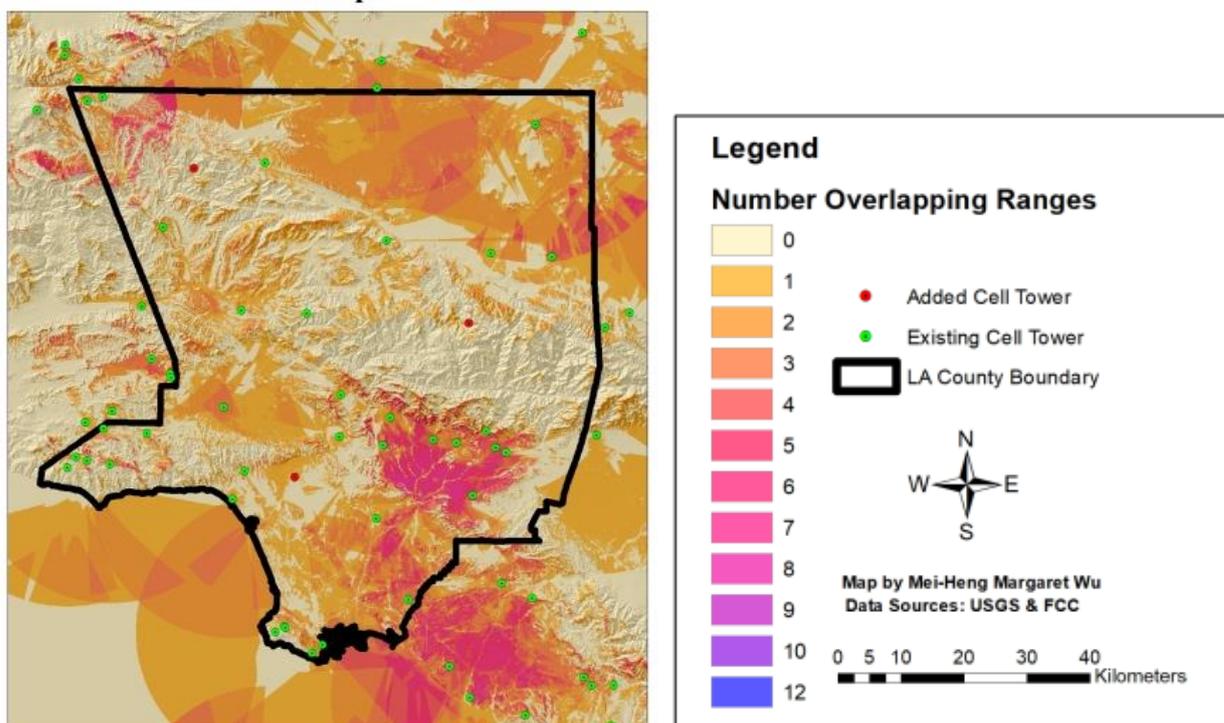


Рисунок 14 – Отрывок из карты Маргарет Ву с анализом точек с оптимальным расположением [20]

## **ГЛАВА 3. ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАДИОСЕТИ И СОТОВОЙ СВЯЗИ НА ТЕРРИТОРИЮ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

### **3.1. Кожевниково**

Кожевниково – село в Томской области, административный центр Кожевниковского района. По данным Росстата на 2021 год в селе насчитывается 8 393 человека. Основанный в 1733 году, населенный пункт расположен на левом берегу Оби, в 109 км от Томска в юго-западном направлении. Площадь сельской застройки равна 7,2 тыс. км<sup>2</sup> (рис.15).

С точки зрения геоморфологии Кожевниково занимает Нижнетомское поднятие Кулундино-Кетской моноклизы, вследствие чего средняя высота территории здесь составляет 87 м. Как уже было сказано выше, пойма Оби имеет тенденцию к расширению, в связи с чем в верхнем течении реки, в районе ключевого участка села Кожевниково ширина поймы значительно меньше, чем в среднем ее течении. По созданным моделям ЦМР (рис. 16) прослеживаются четкие границы участка поймы и террас населённого пункта – вдоль реки Обь, старичной реки и озера находится пойменный участок территории; большая часть села Кожевниково расположена в зоне I надпойменной террасы реки Оби, а в южной части населенного пункта находится наиболее высокий участок II надпойменной террасы реки Оби, на котором также есть небольшая часть села Кожевниково.

Рисунок 15 – Ортофотоплан села Кожевниково с оцифрованной границей жилой зоны и местами предлагаемого размещения вышек

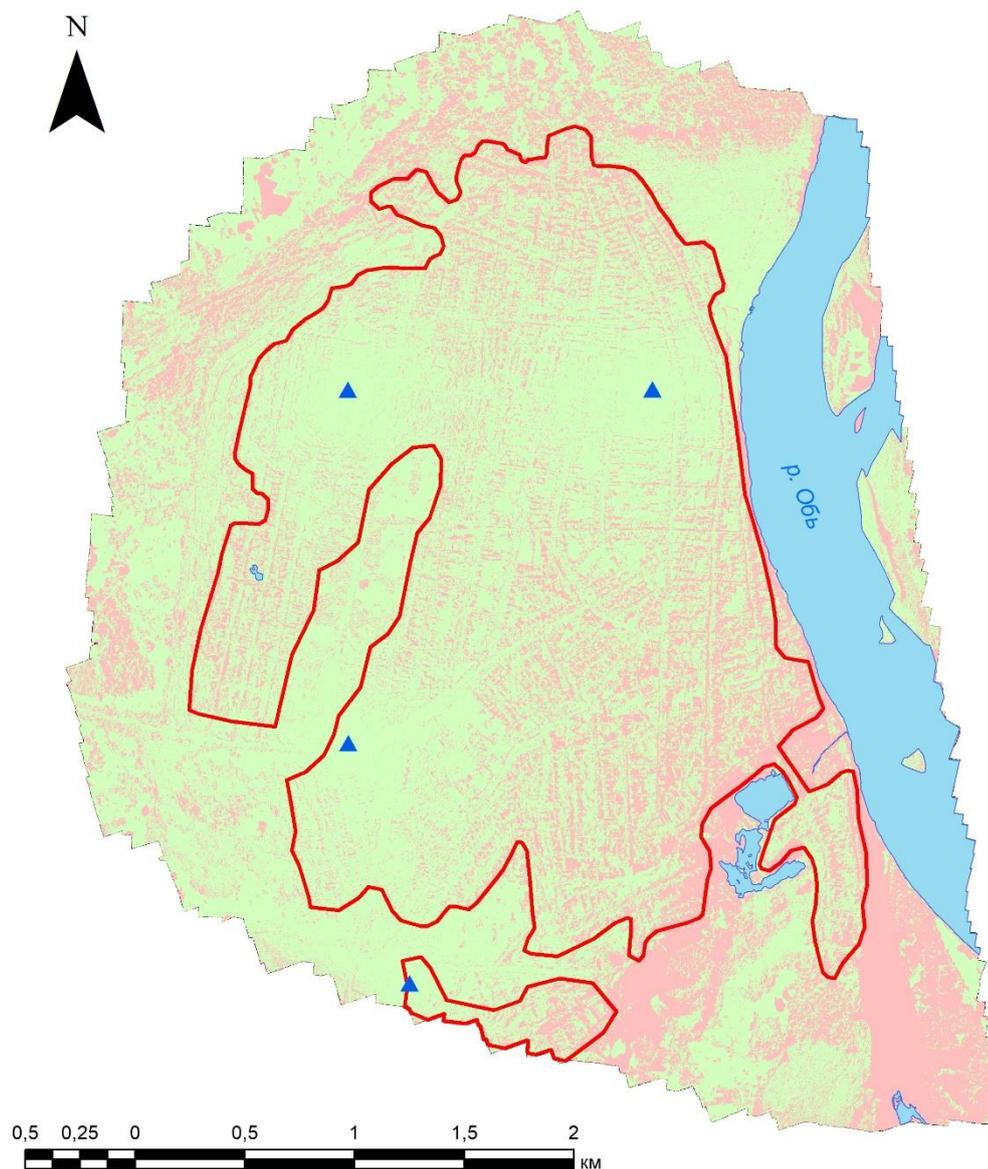
Рисунок 16 – Гипсометрическая карта на основе ЦМР на территорию села Кожевниково

Исходя из данных снимков с БПЛА и построенной по ним ЦМР, была создана карта зоны видимости планируемых вышек сотовой связи (рис. 17). Предполагаемое количество вышек – 4, они равномерно расположены по территории села так, чтобы не было сильной нагрузки на одну вышку, а также чтобы не было сильной концентрации вышек на населенный пункт. Выбранные участки находятся на I и II надпойменных террасах, где концентрируется большая часть населения. Такое расположение приводит отсутствию затопления вышек в период весеннего половодья на Оби, как это происходит в пойме реки. Наибольшее количество точек (3) расположено на I надпойменной террасе, высота которой равна примерно 90 м, еще одна точка лежит на II надпойменной террасе, высота которой примерно 110 метров. Высота вышки сотовой связи колеблется от 40 до 70 м, поэтому для изученных участков была выбрана средняя высота – 50 м.

Для того, чтобы посмотреть зону видимости вышки, устанавливаем ее в районе, который лежит в пределах жилой застройки, а также высота которого наибольшая по всей поверхности территории. После того, как вышки расставлены в наиболее удачных местах можно приступить к рассмотрению зоны их видимости. Для этого находим в окне ArcToolbox «Инструменты Spatial Analyst» - «Поверхность» – «Видимость», для пункта «Видимость» задаем нужные параметры во всех полях, уделяя наибольшее внимание полю «Высота наблюдателя», где нужно указать получившееся значение от сложения высоты точки на поверхности и высоту вышки.

Таким образом, получаем поле видимости вышки, обозначенное зеленым цветом. Зеленый цвет покрывает почти весь участок села, это значит, что выбранные места для вышек сотовой связи будут поставлены очень удачно, так как зона покрытия этих вышек достаточно высока.

Стоимость создания карты зоны видимости на территорию с. Кожевниково рассчитана в Приложении Б.



**Условные обозначения:**

- ▲ Планируемые вышки
- Жилая застройка
- Гидросеть
- Зона невидимости
- Зона видимости

Рисунок 17 – Карта зон видимости предлагаемых вышек на территорию села Кожевниково

По получившимся данным можно дать несколько рекомендаций по установке вышек сотовой связи в данном населенном пункте. Наиболее удачное расположение в селе Кожевниково будет:

- 1) между ул. Гагарина и Октябрьской рядом с Районным домом культуры;

- 2) на пересечении ул. Калинина и пер. Гоголя;
- 3) на пересечении ул. Ленина и ул. Гагарина;
- 4) а также на пересечении автодороги 69К-14 и ул. Садовой (рис. 18).

Устанавливать вышку желательно высотой не ниже 50 м, на открытых участках без высокой растительности, в зонах I и II террас, рядом с наиболее плотно заселенными участками села Кожевниково.

На исследуемой территории нет крупных вышек связи, но принимается сигнал таких операторов как МТС, TELE2, Билайн, МегаФон, Yota, при этом качество сигнала не всегда стабильное (Приложение А).

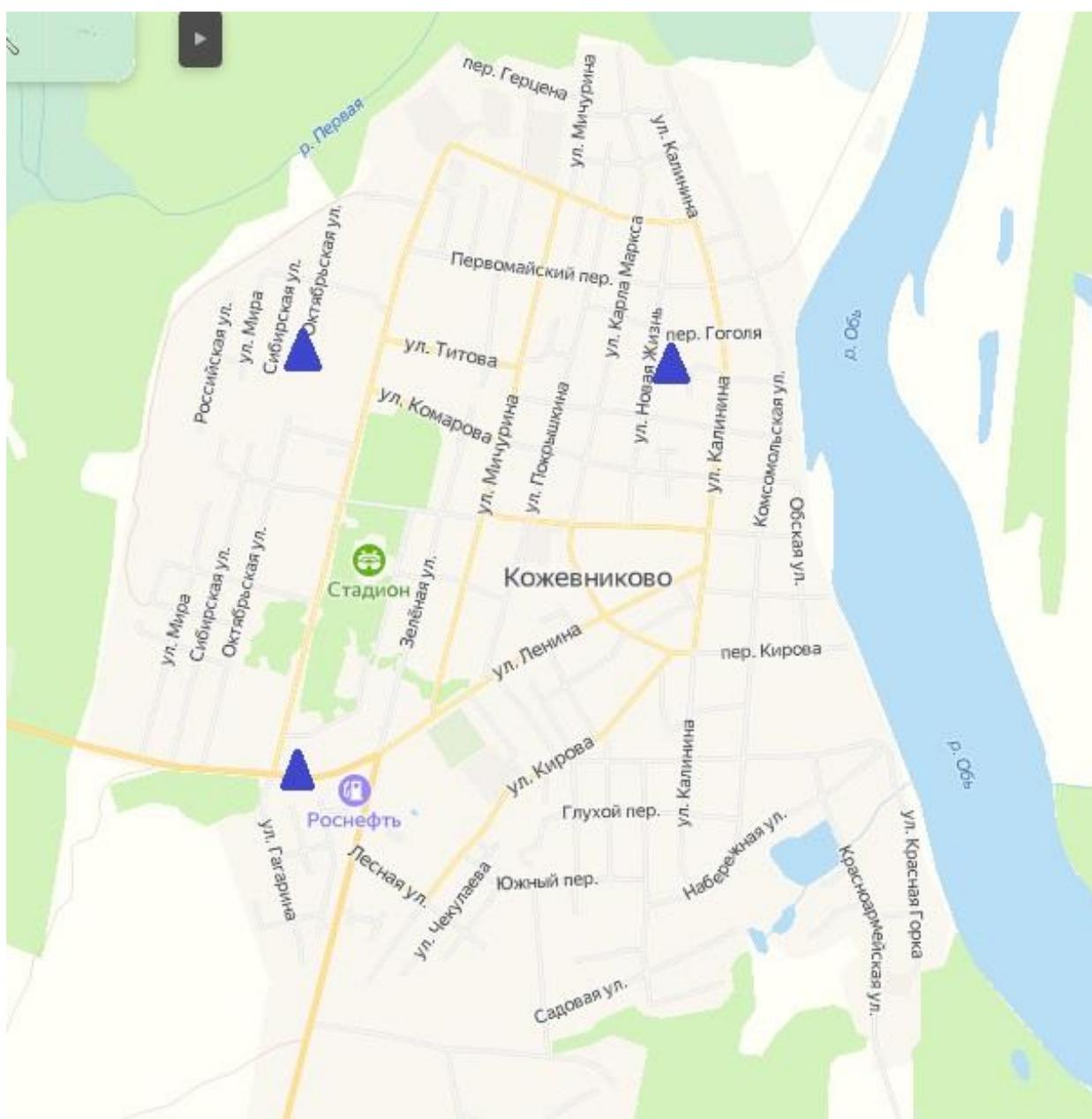


Рисунок 18 – Карта-схема расположения улиц села Кожевниково [27]

### 3.2. Колпашево

Колпашево – город в Томской области, административный центр Колпашевского района. По данным Росстата на 2021 год в городе насчитывается 20 824 человек, что делает его пятым городом по численности населения в Томской области. Город был основан в 1938 году, но населенный пункт находится здесь уже с начала XVII века. Колпашево находится на правом берегу Оби, в 270 км к северо-западу от Томска, и поделен на 3 части. Площадь общей городской застройки равна примерно 12,1 км<sup>2</sup> (рис.19).

Рисунок 19 – Ортофотоплан города Колпашево с оцифрованной границей жилой зоны и местами предлагаемого размещения вышек

С геоморфологической точки зрения Колпашево занимает Колпашевскую впадину Кулундино-Кетской моноклизы. Средняя высота территории здесь составляет 113 м. Пойменный участок хорошо заметен в западной части территории, в его районе находятся старичные озера, образованные древним руслом реки, и в юго-восточной части гипсометрической карты, где также можно увидеть наличие озер-старич (рис. 20). Самое низкое значение высот города именуется 56 метрами. Небольшая часть населения проживает в пойме, а основная часть проживает на территории I надпойменной террасы реки Оби. Этот участок имеет среднюю высоту примерно 70-80 м. На севере карты отмечаются чуть повышенные участки, характерные для высокой древесной растительности.

Рисунок 20 – Гипсометрическая карта на основе ЦМР на территорию города Колпашево

Исходя из данных снимков с БПЛА и построенной по ним ЦМР, была построена карта зоны видимости планируемых вышек сотовой связи (рис. 21). Предполагаемое количество вышек – 4, они равномерно расположены по территории города так, чтобы охватить все части города и обеспечить сотовой связью максимальное количество населения, так как установка только одной вышки чревата тем, что остальная часть города может оказаться в зоне отсутствия связи. Все выбранные участки находятся на I надпойменной террасе реки Оби, где находится большая часть населения, также такое расположение приводит отсутствию затопления вышек в период весеннего половодья на Оби, как это происходит в пойме реки. Высота вышки сотовой связи для изученного участка была выбрана высотой 50 м.

Для того, чтобы посмотреть зону видимости вышки, устанавливаем ее в районе, который лежит в пределах поселения, а также высота которого наибольшая по всей поверхности территории. В данном случае в центре жилой застройки оказалась одна вышка, а на окраине в пределах населенного пункта три. После того, как вышки расставлены в наиболее удачных местах можно приступить к рассмотрению зоны их видимости. Для этого находим в окне ArcToolbox Инструменты Spatial Analyst - Поверхность – Видимость, для пункта Видимость задаем нужные параметры во всех полях, уделяя наибольшее внимание полю «Высота наблюдателя», где нужно указать получившееся значение от сложения высоты точки на поверхности и высоту вышки.

Таким образом, получаем поле видимости вышки, обозначенное зеленым цветом. Зеленого цвета на карте достаточно, но из-за того, что рельеф населенного пункта весьма разнообразен, а в северной части находится высокий древостой, большой радиус видимости будет находится рядом с вышкой.

Стоимость создания карты зоны видимости на территорию г. Колпашево рассчитана в Приложении Б.

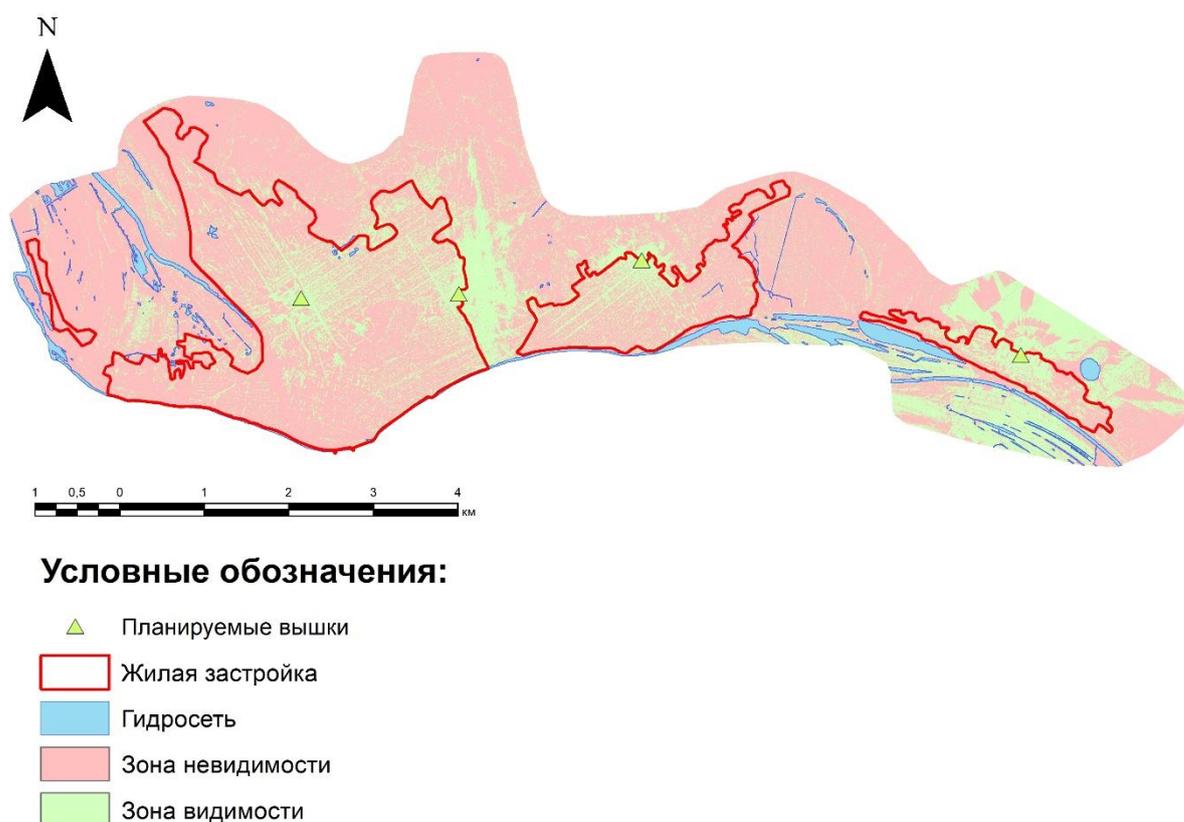


Рисунок 21 – Карта зон видимости предлагаемых вышек на территорию города Колпашево



Рисунок 23 – Ортофотоплан села Нарым с оцифрованной границей жилой зоны и местами предлагаемого размещения вышек

Нарым находится в Тымском прогибе Обской синеклизы, поэтому большая часть территории опущена. Средняя высота территории здесь составляет 52 м. Территория со всех сторон окружена болотами, но сам населенный пункт находится на I надпойменной террасе реки Обь (рис. 24). Высота террасы равна примерно 56-58 м. Абсолютную высоту также добавляет территории высокая древесная растительность. На юге села через р. Кеть, и на западе рядом и через р. Обь находится пойма рек. Пойма достаточно широкая, и главными показателями ее наличия здесь служат старичные озера, результат древних русловых процессов. Высота поймы равна примерно 47-48 м.

Рисунок 24 – Гипсометрическая карта на основе ЦМР на территорию села Нарым

По данным снимков с БПЛА и построенной по ним ЦМР, была создана карта зоны видимости планируемых вышек сотовой связи (рис. 25). Предполагаемое количество вышек – 2, они равномерно расположены по территории жилой застройки так, чтобы охватить все части села и обеспечить сотовой связью максимальное количество населения, так как установка только одной вышки чревата тем, что остальная часть села может оказаться в зоне отсутствия связи. Все выбранные участки находятся на I н. т. реки Оби, поэтому в сезон весеннего половодья это место не будет затопляться водой, как это происходит на пойме. Высота вышки сотовой связи для изученного участка была выбрана в качестве среднего значения – 50 м.

Для того, чтобы посмотреть зону видимости вышки, устанавливаем ее в районе, который лежит в пределах населенного пункта, а также высота которого наибольшая по всей поверхности территории. В данном случае все вышки лежат на окраине жилой застройки. После того, как вышки расставлены в наиболее удачных местах можно приступить к рассмотрению зоны их видимости. Для этого находим в окне ArcToolbox «Инструменты Spatial Analyst» - «Поверхность» – «Видимость», для пункта «Видимость» задаем нужные параметры во всех полях, уделяя наибольшее внимание полю «Высота наблюдателя», где указываем получившееся значение от сложения высоты точки на поверхности и высоту вышки.

Таким образом, получаем поле видимости вышки, обозначенное зеленым цветом. Зеленый цвет покрывает весь участок села, это значит, что выбранные места для вышек

сотовой связи будут поставлены очень удачно, так как зона покрытия этих вышек достаточно высока.

Стоимость создания карты зоны видимости на территорию с. Нарым рассчитана в Приложении Б.

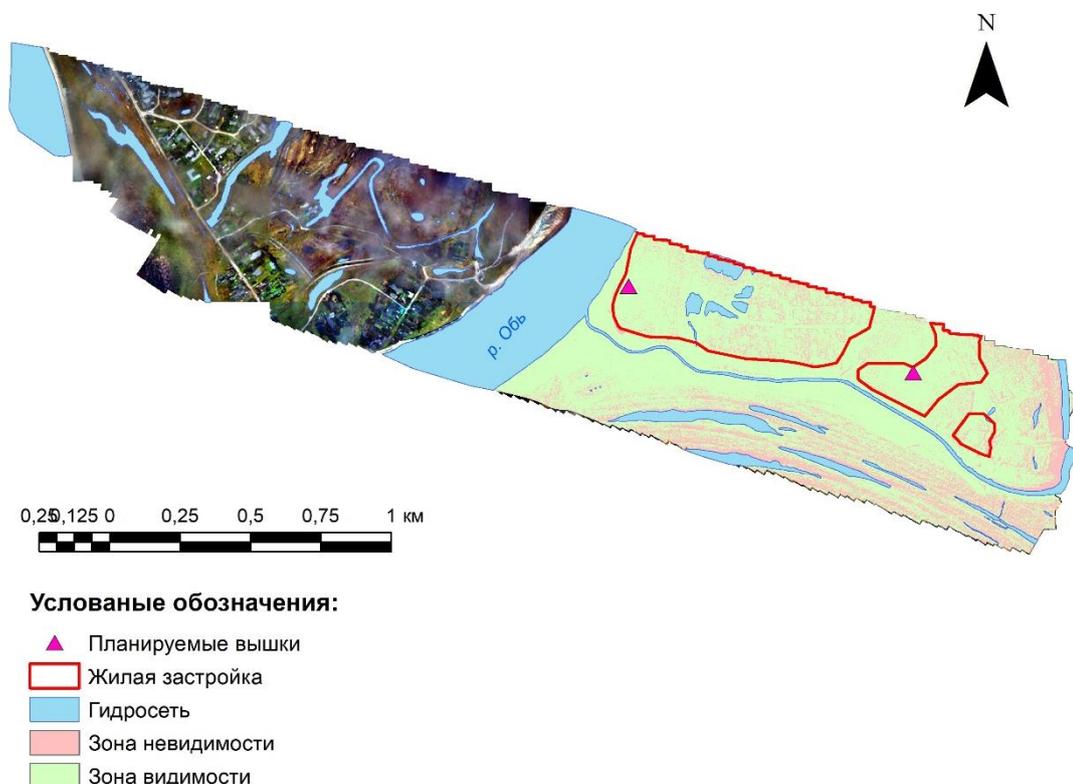


Рисунок 25 – Карта зон видимости предлагаемых вышек на территорию села Нарым

По получившимся картам зоны видимости (покрытия) можно дать несколько рекомендаций по установкам вышек сотовой связи в селе. Наиболее удачное расположение вышек сотовой связи в Нарыме будет:

- 1) на Садовом переулке рядом с домом №5;
- 2) на Полевом переулке у дома №22 (рис. 26).

Устанавливать вышку желательно высотой не ниже 50 м, на открытых участках, без высокой растительности, рядом с наиболее плотно заселенными участками населенного пункта.

Нужно заметить, что в Нарыме есть вышка сотовой связи на ул. Уфимская рядом со школой и детским садом, при планировании вышек связи данный момент не учитывается.

На исследуемой территории нет крупных вышек связи, но принимается сигнал таких операторов как МТС, TELE2, Билайн, МегаФон, Yota, при этом качество сигнала не всегда стабильное (Приложение А).

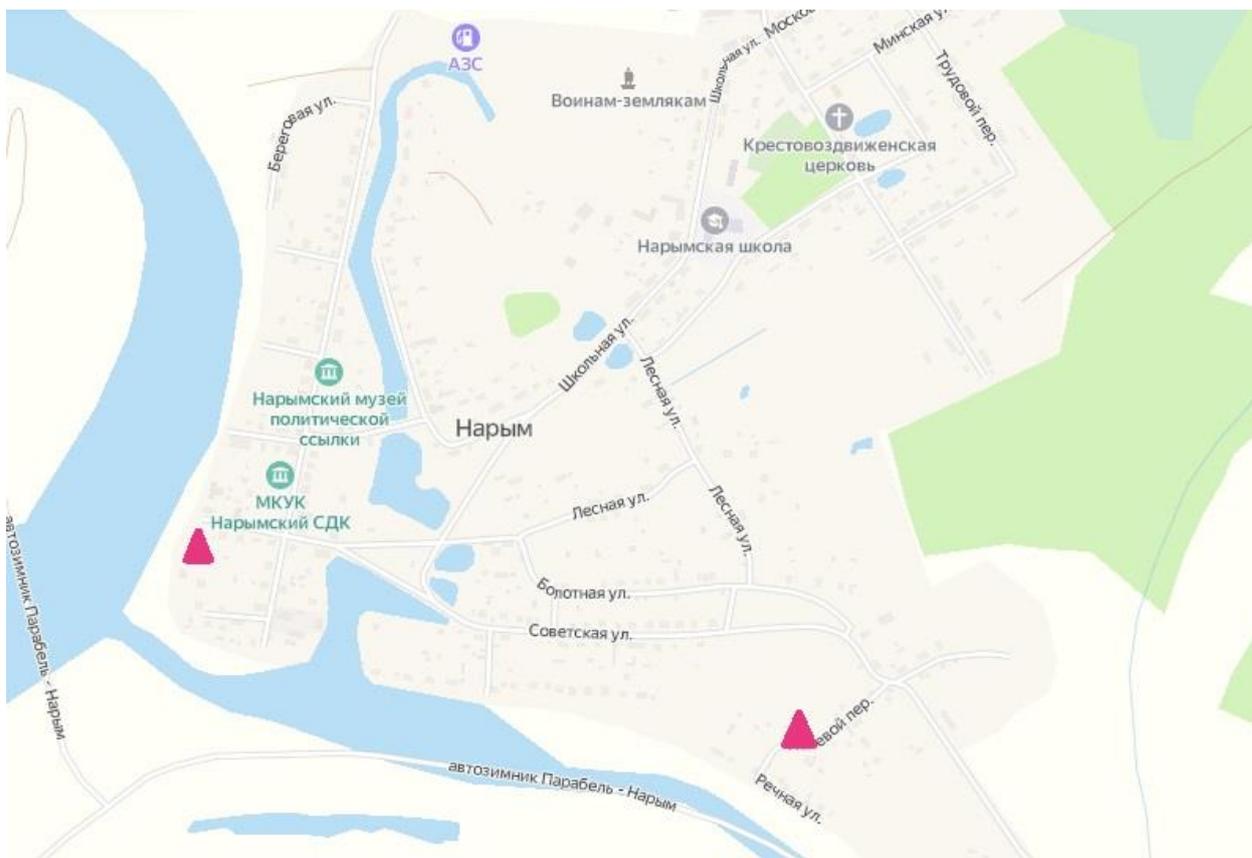


Рисунок 26 – Карта-схема расположения улиц села Нарым [27]

### 3.4. Каргасок

Каргасок – село в Томской области, административный центр Каргасокского района. По данным Росстата на 2021 год в селе проживает 7408 человек. Первые упоминания о данном населенном пункте датируются 1640 годом, а в июне 1921 года была образована Каргасокская волость. Каргасок расположен на левом берегу реки Обь, в 460 км от Томска по автодороге на северо-запад. Площадь общей городской застройки равна примерно 8,2 км<sup>2</sup> (рис. 27).

Рисунок 27 – Ортофотоплан села Каргасок с оцифрованной границей жилой зоны и местами предлагаемого размещения вышек

Каргасок, также как и Нарым, находится в Тымском прогибе Обской синеклизы, поэтому большая часть территории опущена. Средняя высота территории здесь составляет также 52 м. В населенном пункте хорошо прослеживаются границы поймы, I и II надпойменных террас: участок поймы находится вдоль реки Обь и вдоль протока Панигатка преимущественно на востоке изучаемой территории, I надпойменная терраса доходит до реки Обь в северной части и имеет высоту примерно 50-52 м, а II надпойменная терраса реки Обь находится в южной части села и имеет высоту примерно

52-54 метра (рис. 28). Из построенной карты видно, что большая часть населения села Каргасок расположена в зоне I надпойменной террасы реки Оби, но немалая часть населения проживает и на II надпойменной террасе.

Рисунок 28 – Гипсометрическая карта на основе ЦМР на территорию села Каргасок

Следует упомянуть о том, что в Каргаске есть четыре вышки сотовой связи на ул. Учебной 111 рядом с АЗС, на Болотном пер. рядом с домом №11, на береговой ул. рядом с домом №2, на Объездной дороге 14. Исходя из данных снимков с БПЛА и построенной по ним ЦМР, была создана карта зон видимости установленных вышек сотовой связи (рис. 29).

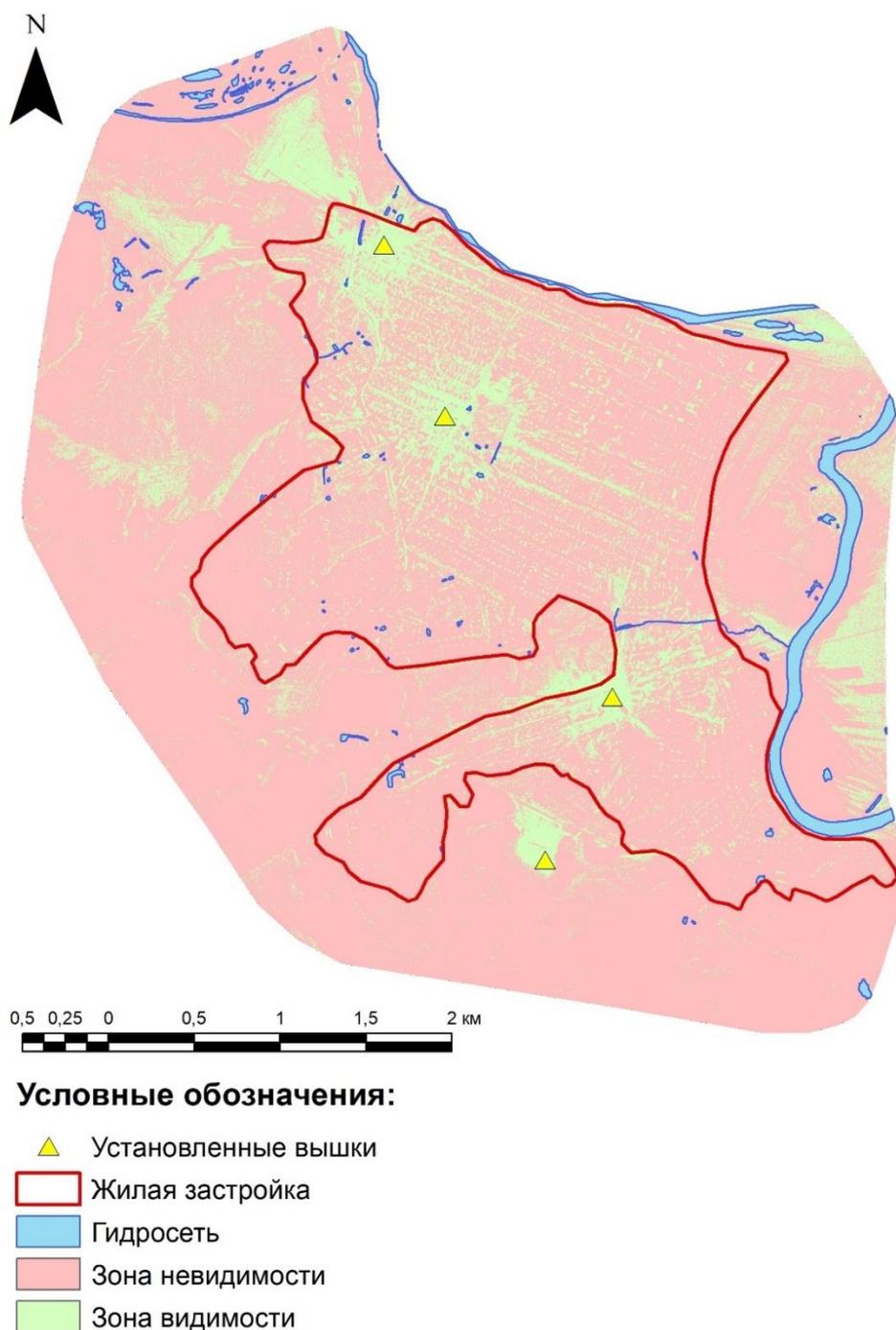


Рисунок 29 – Карта зон видимости существующих вышек на территорию села Каргасок

На построенных картах уже установленных вышек сотовой связи можно наглядно увидеть, как обстоят дела со связью в населенном пункте. Установленные вышки не покрывают участки жилой застройки, на карте присутствует большое количество розового цвета, который соответствует зоне невидимости. Зона видимости расположена локально и в большинстве случаев приурочена к территории в радиусе инфраструктуры, не покрывая должным образом остальную часть территории. При планировании вышек связи установленные вышки не учитывались.

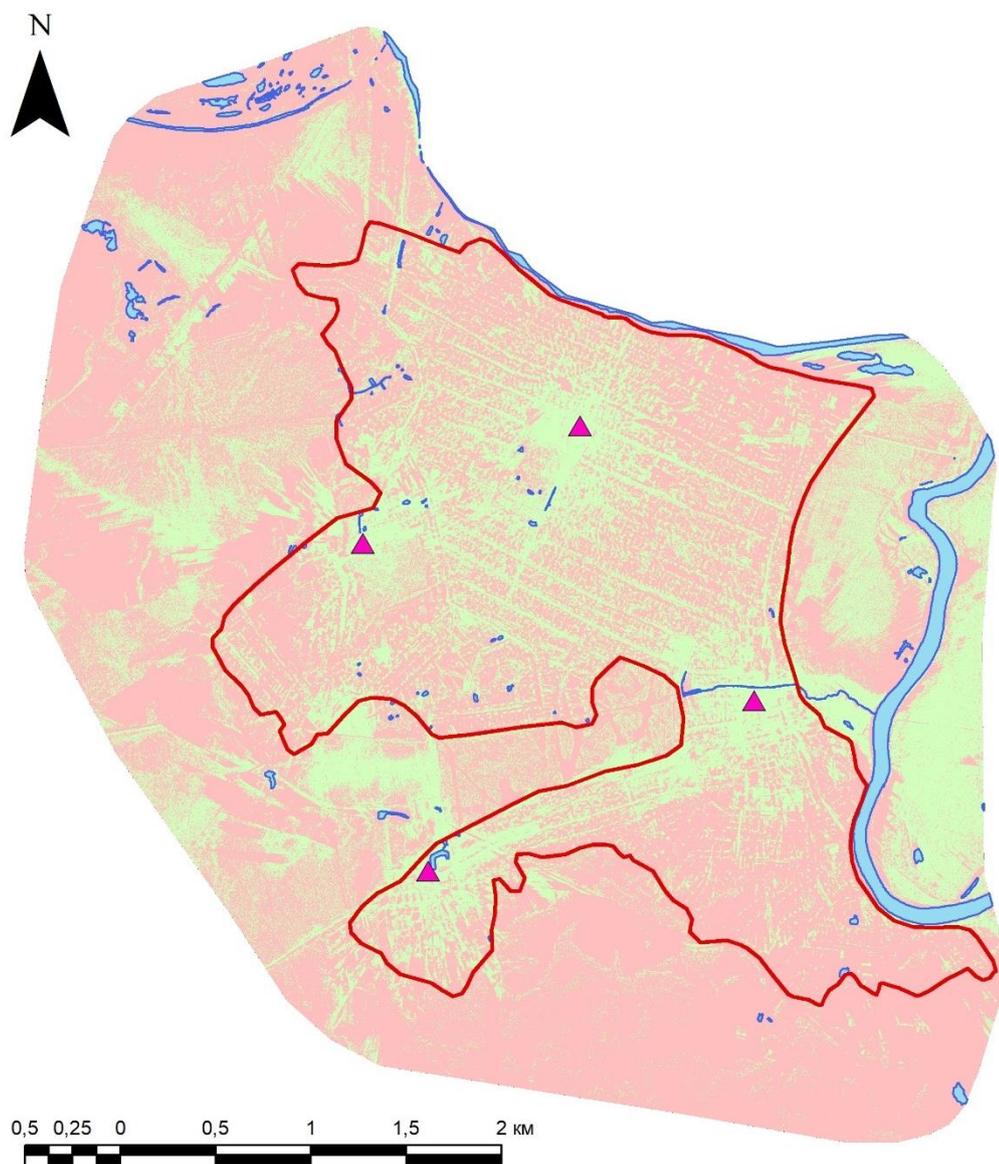
Улучшить ситуацию со связью в селе Каргасок поможет грамотное установление вышек связи. Предполагаемое количество планируемых вышек – 4, они равномерно расположены по территории села так, чтобы не было сильной нагрузки на одну вышку от населения села, а также чтобы не было сильной концентрации вышек на населенный пункт (рис. 30). Выбранные участки находятся на I и II террасах в местах, где находится большая часть населения, также такое расположение приводит отсутствию затопления вышек в период весеннего половодья на Оби, как это происходит в пойме реки. Наибольшее количество точек (3) расположено на I надпойменной террасе, еще одна точка лежит на II надпойменной террасе. Высота вышки сотовой связи колеблется от 40 до 70 м, поэтому для изученного участка была выбрана средняя высота – 50 м.

Для того, чтобы посмотреть зону видимости вышки, устанавливаем ее в районе, который лежит в пределах жилой застройки, а также высота которого наибольшая по всей поверхности территории. После того, как вышки расставлены в наиболее удачных местах можно приступить к рассмотрению зоны их видимости. Для этого находим в окне ArcToolbox «Инструменты Spatial Analyst» - «Поверхность» – «Видимость», для пункта «Видимость» задаем нужные параметры во всех полях, обращая внимание на поле «Высота наблюдателя», где нужно указать получившееся значение от сложения высоты точки на поверхности и высоту вышки.

Таким образом, получаем поле видимости вышки, которое обозначается зеленым цветом. Зеленого цвета на карте достаточно, но из-за того, что рельеф населенного пункта весьма разнообразен, на территории локально находятся зоны высокого древостоя, большой радиус видимости будет находится рядом с вышкой.

Планируемые вышки покрывают зону видимости в жилой застройке на 41%, в то время как уже установленные – лишь на 22%.

Стоимость создания карты зоны видимости на территорию с. Каргасок рассчитана в Приложении Б.



**Условные обозначения:**

- ▲ Проектируемые вышки
- Жилая застройка
- Гидросеть
- Зона невидимости
- Зона видимости

Рисунок 30 – Карта зон видимости предлагаемых вышек на территорию села Каргасок

По получившимся картам зоны видимости (покрытия) можно дать несколько рекомендаций по установкам вышек сотовой связи в селе. Наиболее удачное расположение вышек сотовой связи в Каргаске будет:

- 1) у школы №2, на ул. Советская;
- 2) у Каргасокской центральной районной больницы по Красноармейской улице;

- 3) на Геофизической ул. рядом с домом №27;
- 4) в поселке Геологическом на ул. Герасимовская у дома №118 (рис. 31).

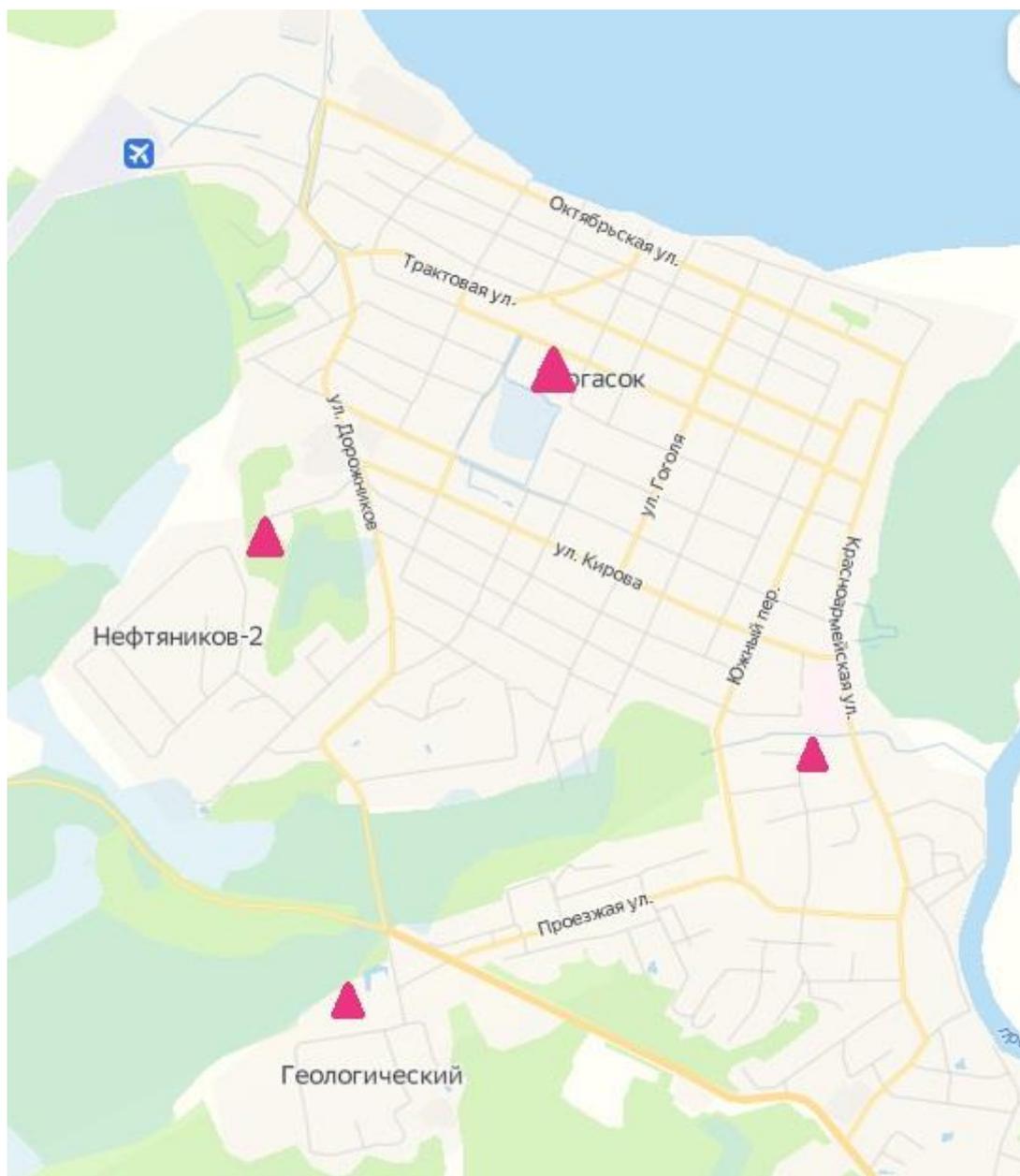


Рисунок 31 – Карта-схема расположения улиц села Каргасок [27]

Устанавливать вышку желательно высотой не ниже 50 м, на открытых участках, без высокой растительности, рядом с наиболее плотно заселенными участками населенного пункта.

На исследуемой территории нет крупных вышек связи, но принимается сигнал таких операторов как МТС, TELE2, Билайн, МегаФон, Yota, при этом качество сигнала не всегда стабильное (Приложение А).

### 3.5. Вертикос

Вертикос — село в Каргасокском районе Томской области. Административный центр и единственный населённый пункт Вертикосского сельского поселения. В 1926 году село было образовано как поселение хантов и селькупов. Вертикос расположено в северо-восточной части Каргасокского района в 106 км от Каргаска в северо-западном направлении. Площадь общей городской застройки равна примерно 1 км<sup>2</sup> (рис. 32).

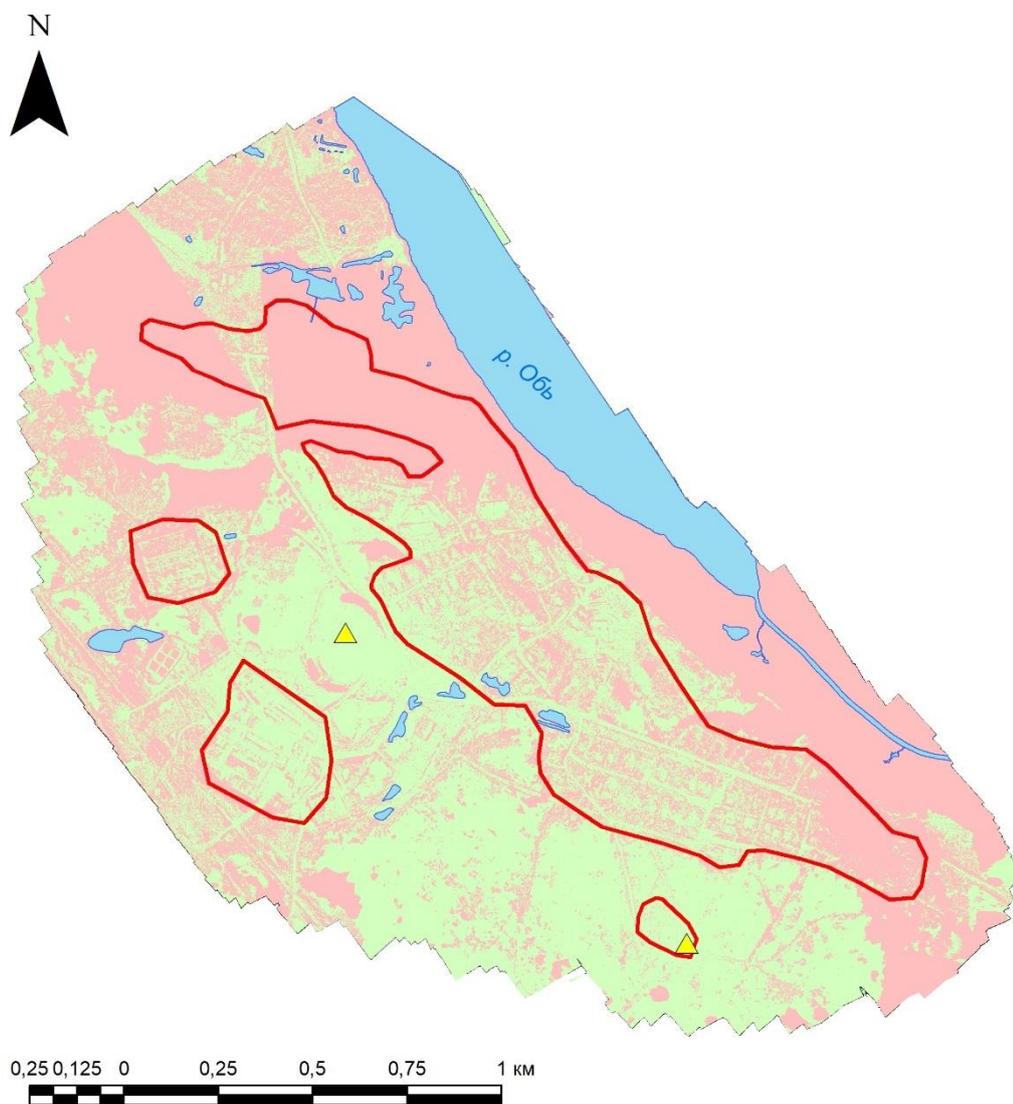
Рисунок 32 – Ортофотоплан села Вертикос с оцифрованной границей жилой зоны и местами предлагаемого размещения вышек

С точки зрения геоморфологии Вертикос, также как Каргасок и Нарым, находится в Тымском прогибе Обской синеклизы, поэтому большая часть территории опущена. Средняя высота территории здесь составляет 60 м (рис. 33).

Рисунок 33 – Гипсометрическая карта на основе ЦМР на территорию села Вертикос

В населенном пункте хорошо прослеживаются границы поймы и I надпойменной террасы: вдоль реки Обь и вдоль реки Малышевская Курья находится достаточно обширный участок поймы, его высота в селе составляет примерно 45-50 м, после пойменного рельефа на большей части территории села находится водораздельная равнина, которая имеет среднюю высоту равную примерно 50-70 м. Из построенной карты видно, что большая часть населения села Вертикос расположена в зоне водораздельной равнины, но небольшая часть населения проживает и в пойменной части.

Следует упомянуть о том, что в селе есть вышки сотовой связи, они находятся на западе района на ул. Лесной и на юге Вертикоса по ул. Таежной. При планировании вышек связи установленные вышки не учитывались, однако при составлении карты их зоны видимости, можно увидеть разницу между ними и планируемыми (рис. 34).



**Условные обозначения:**

- ▲ Установленные вышки
- Жилая застройка
- Гидросеть
- Зона невидимости
- Зона видимости

Рисунок 34 – Карта зон видимости существующих вышек на территорию села Вертикос

Установленные вышки находятся на водораздельной равнине долины реки Обь, и видимость вышек достаточно высокая, на карте она выделяется зеленым цветом, покрывая большую часть населенного пункта на юго-западе. Но пойменный участок села, который находится на высоте до 60 м, остается без видимости установленных вышек, покрытие до поймы не доходит.

Разница между планируемыми вышками и установленными видна сразу. Предполагаемое количество планируемых вышек – 2, они равномерно расположены по территории села так, чтобы не было сильной нагрузки на одну вышку, а также чтобы не

было сильной концентрации вышек в населенном пункте (рис. 35). Выбранные участки находятся на равнине в месте, где находится большая часть населения, такое расположение также приводит отсутствию затопления вышек в период весеннего половодья на Оби, как это происходит в пойме реки.

Для того, чтобы выделить зону видимости вышки, устанавливаем ее в районе, который лежит в пределах жилой застройки, а также высота которого наибольшая по всей поверхности территории. После того, как вышки расставлены в наиболее удачных местах можно приступить к рассмотрению зоны их видимости. Для этого находим в окне ArcToolbox «Инструменты Spatial Analyst» - «Поверхность» – «Видимость», для пункта «Видимость» задаем нужные параметры во всех полях, уделяя наибольшее внимание полю «Высота наблюдателя», где нужно указать получившееся значение от сложения высоты точки на поверхности и высоту вышки.

Таким образом, получаем поле видимости вышки, выделенное зеленым цветом. Зеленый цвет покрывает почти весь участок села, это значит, что выбранные места для вышек сотовой связи будут поставлены очень удачно, так как зона покрытия этих вышек достаточно высока. В процентном соотношении зона видимости существующих вышек села Вертикос равна 45%, предлагаемых же вышек – 73%. Разница составляет 28%.

Стоимость создания карты зоны видимости на территорию с. Вертикос рассчитана в Приложении Б.



**Условные обозначения:**

- ▲ Проектируемые вышки
- ▭ Жилая застройка
- Гидросеть
- Зона невидимости
- Зона видимости

Рисунок 35 – Карта зон видимости предлагаемых вышек на территорию села Вертикос

По получившимся картам зоны видимости (покрытия) можно дать несколько рекомендаций по установкам вышек сотовой связи в селе. Наиболее удачное расположение вышек сотовой связи в Вертикосе будет:

- 1) на ул. Ленина рядом с домом №21;
- 2) на ул. Молодежной рядом со зданием сельской администрацией (рис. 36).

Устанавливать вышку желательно высотой не ниже 50 м, на открытых участках, без высокой растительности, рядом с наиболее плотно заселенными участками населенного пункта.

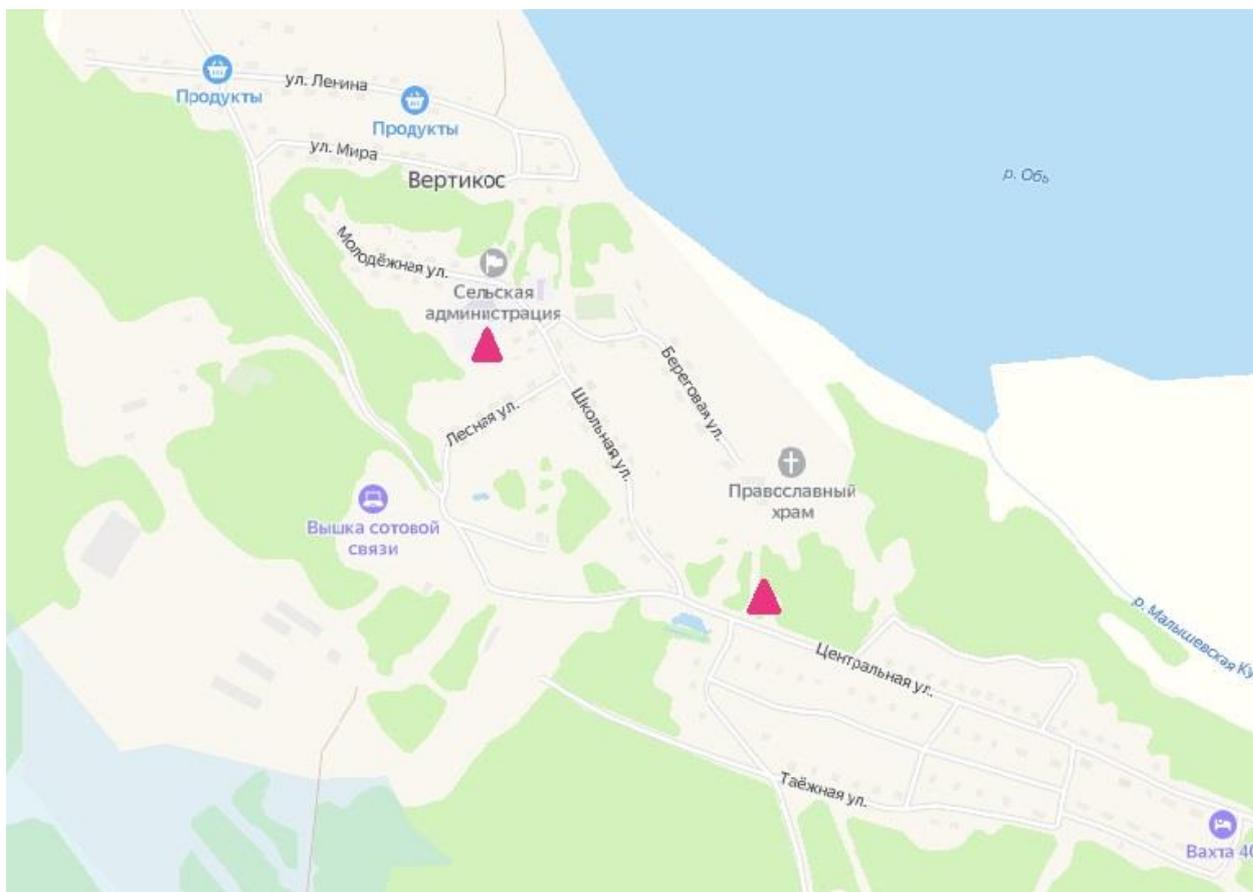


Рисунок 36 – Карта-схема расположения улиц села Вертикос [27]

На исследуемой территории нет крупных вышек связи, но принимается сигнал таких операторов как МТС, TELE2, Билайн, МегаФон, Yota, при этом качество сигнала не всегда стабильное (Приложение А).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в результате исследования результаты соответствуют цели данной научной работы. Для каждого из пяти населенных пунктов была составлена карта зоны видимости планируемых вышек сотовой связи, а для территории села Каргасок и села Вертикос были составлены карты зоны видимости на установленные вышки, показывающие ситуацию со связью в настоящем времени.

В результате анализа всех предложенных источников был произведен анализ морфологического строения долины р. Обь в пределах ключевых участков, в результате чего были выделены несколько типов морфологии участков: поймы рек, I и II надпойменные террасы реки Оби и междуречная водораздельная равнина. Также было произведено картографирование зон видимости при разном расположении вышек сотовой связи на основе цифровых моделей местности, с целью выбора наиболее удачного расположения и максимального покрытия, сравнивая различные варианты расположения вышек.

В ходе работы были разработаны рекомендации для успешного планирования инфраструктуры на изучаемой территории населенных пунктов, расположенных в долине реки Обь, которые можно будет использовать для установления вышек сотовой связи.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая карта СССР. Лист О (44)45 – Томск. – Л., ВСЕГЕИ, 1988.
2. Глотов А.А. Использование ЦМР для эффективного управления природопользованием // Геоматика. – Москва: Совзонд, 2013. – № 4. – С. 32–36.
3. Евсеева Н. С. География Томской области. Природные условия и ресурсы. – Томск: Издательство Томского университета, 2001. – 223 с.
4. Евсеева Н.С., Окишева Л.Н. География Томской области. Природа, природные ресурсы: Учебное пособие для учащихся 8 класса общеобразовательных учебных заведений / Под ред. докт. геогр. наук П.А. Окишева. Изд. 3-е, испр. — Томск: Изд-во НТЛ, 2005. — 152 с.
5. Земцов А. А. География Томской области – Томск: Издательство Томского университета, 1988. – 246 с.
6. Земцов А. А. География Томской области: Учебное пособие для учащихся 8 – 9-х классов – Томск: Издательство Томского университета, 1991. – 138 с.
7. Иоганзен Б. Г. Природа Томской области - 4-е изд., перераб. - Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1971. – 176 с.
8. Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др. Геоинформатика (Классический университетский учебник) - М., ИЦ Академия, 2005. – 480 с.
9. Мусин О. Р. Цифровые модели для ГИС // Инф. бюлл. ГИС-Ассоциации, 1998. – №4 (16). – 30-31 с.
10. Новаковский Б. А., Прасолов С. В., Прасолова А. И. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей – Москва: Науч. мир, 2003 – 61 с.
11. Паниди Е. А. Моделирование полей видимости в среде ArcGIS средствами приложения «Картометрия» - СПб: Вестник Санкт-Петербургского университета, История – №1 – 2012 – 121-129 с.
12. Поперечный профиль Обь-Томского междуречья. Лист О 45 – Томск: Издательство Томского университета, 2007 г. – Л., ВСЕГЕИ.
13. Сечин А. Ю., Дракин М. А., Киселева А. С. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 2) – «Ракурс» - Москва, 2011.
14. Уфимцев Г.Ф., Тимофеев Д.А., Симонов Ю.Г. и др. Морфология рельефа. – Москва: Науч. мир, 2004. - 182 с.
15. Флоринский И. В., Скрыпицына Т. Н., Бляхарский Д. П. и др. Цифровой микрорельеф поверхности ледников по данным беспилотной аэрофотосъемки: постановка задачи и первые результаты // Цифровая география – Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. – Пермь, 2020 – 185-188 с.

16. Хлебникова Т. А., Горобцов С. Р. Моделирование и пространственный анализ в ГИС. Цифровое моделирование рельефа в ГИС «Панорама»: учебно-методическое пособие для обучающихся по специальности 21.05.01 Прикладная геодезия, специализация Инженерная геодезия (уровень специалитета), и по специальности 21.05.04 Горное дело, специализация Маркшейдерское дело (уровень специалитета) – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. - 69 с.

17. Хромых В. В., Хромых О. В. Цифровые модели рельефа: учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2011. – 188 с.

18. Хромых В. С. Динамика ландшафтов поймы средней Оби – Томск: Вестник Томского государственного университета, 2007– №300.

19. Хромых В. С. Структура и качественная оценка ландшафтов поймы Средней Оби: в границах Томской области: диссертация – Новосибирск, 1975. – 230 с.

20. Wu Margaret Visibility Analysis of Cell Towers / GIS Portfolio by Margaret Wu [Электронный ресурс] – URL: <https://thegisproject.wordpress.com/2018/02/21/visibility-analysis-of-cell-towers/> (дата обращения: 22.05.2023)

#### **Internet-сайты**

21. Билайн офисы и покрытие – билайн Томск [Электронный ресурс] – URL: <https://tomsk.beeline.ru/customers/beeline-map/?lat=56.50019999999929&lon=84.99719999999998&zoom=12> (дата обращения: 29.03.2023)

22. Евгений Радист Какой радиус действия у вышки сотовой связи GSM 3G LTE 4G? [Электронный ресурс] – URL: <https://youtu.be/cAs-JXp3siY> (дата обращения: 23.04.2023)

23. МегаФон Салоны связи МегаФона и зона покрытия – Официальный сайт МегаФона Томская область [Электронный ресурс] – URL: <https://tom.megafon.ru/help/offices/> (дата обращения: 29.03.2023)

24. МТС Наша сеть – Томская область [Электронный ресурс] – URL: <https://tomsk.mts.ru/personal/podderzhka/zoni-obslyuzhivaniya/nasha-set?on=g2> (дата обращения: 29.03.2023)

25. Tele2 Карта покрытия 2G, 3G, 4G/LTE Tele2 Томская область [Электронный ресурс] – URL: <https://tomsk.tele2.ru/coverage> (дата обращения: 29.03.2023)

26. Yota Офисы продаж и зона покрытия Yota по России – Адреса салонов связи [Электронный ресурс] – URL: <https://www.yota.ru/map?fullscreen=false&ctrl=on&split=off&mode=sales&tab=on&collapse=on&tt=all&filter=2g,3g,4g&type=mobile#coverage> (дата обращения: 29.03.2023)

27. Яндекс Карты Томская область [Электронный ресурс] – URL: <https://yandex.ru/maps/?ll=83.956105%2C56.267271&z=14.76> (дата обращения: 05.06.2023)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Текущая ситуация с качеством мобильного и интернет-сигнала различных операторов в различных населенных пунктах.

Название оператора	2G	3G	4G	интернет вещей nb-iot
МТС [25]	Кожевниково, Колпашево, Нарым (локально), Каргасок, Вертикос	Кожевниково, Колпашево, Каргасок, Вертикос	юг Кожевниково, Колпашево, Каргасок, Вертикос (нестабильный сигнал)	Кожевниково, Колпашево, Каргасок, Вертикос
TELE2 [24]	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок (нестабильный сигнал)	нет данных
Билайн [21]	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок, Вертикос	Кожевниково, Колпашево (локально), Нарым (локально), Каргасок	Кожевниково, Колпашево, Каргасок (нестабильный сигнал)	нет данных
МегаФон [23]	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок,	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок (нестабильный сигнал)	нет данных
Yota [26]	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок,	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок,	Кожевниково, Колпашево, Нарым, Каргасок (нестабильный сигнал)	нет данных

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Смета расходов по созданию цифровой модели рельефа с зонами видимости связи и установке вышек сотовой связи в населенных пунктах.

№ п/п	Направление расходов	Статья	Целых руб.	
			Всего по статьям	Всего по направлению
1	Расходы на оплату труда	Создание цифровой модели местности по данным съемки с БПЛА	40 000	120 000
		Создание цифровой модели рельефа на основе цифровой модели местности	50 000	
		Создание карт зоны видимости для установленных вышек сотовой связи по картам ЦМР	30 000	
2	Расходы на приобретение оборудования и программного обеспечения для научных исследований	Программный комплекс Agisoft Metashape Professional (бессрочная лицензия)	297 000	297 000
3	Расходы на оплату прочих работ, выполняемых сторонними организациями	Заказ данных съемки с БПЛА на территорию изысканий	20 000	20 000
		ИТОГО	437 000	437 000

## СПРАВКА

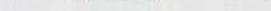
Томский Государственный Университет

о результатах проверки текстового документа  
на наличие заимствований

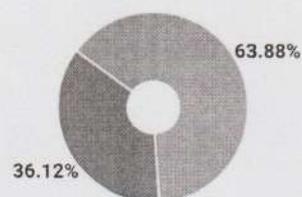
ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Шихова Мария Николаевна  
Самоцитирование  
рассчитано для: Шихова Мария Николаевна  
Название работы: Диплом, Шихова  
Тип работы: Выпускная квалификационная работа  
Подразделение: Кафедра географии

### РЕЗУЛЬТАТЫ

СОВПАДЕНИЯ		36.12%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ		63.88%
ЦИТИРОВАНИЯ		0%
САМОЦИТИРОВАНИЯ		0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 08.06.2023



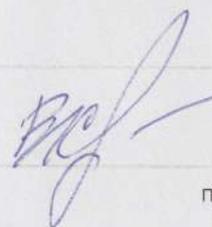
Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.2, 4-46  
Модули поиска: Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс\*; Сводная коллекция РГБ; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); eLIBRARY.RU; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по Интернету; Модуль поиска "tsu"; Кольцо вузов

Работу проверил: Хромых Вадим Валерьевич

ФИО проверяющего

Дата подписи:

08.06.2023 г.



Подпись проверяющего



Чтобы убедиться  
в подлинности справки, используйте QR-код,  
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование  
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.  
Предоставленная информация не подлежит использованию  
в коммерческих целях.